Nummulitique En général, dans un pays faillé comme l'est l'Algérie, on peut, lorsque l'on chemine sur des plateaux continus, passer sans s'en douter d'une formation à une autre, tellement les caractères lithologiques sont parfois identiques entre des couches que des dénivellations ont placées bout à bout. On ne reconnaît son erreur que lorsque des fractures ouvertes viennent décéler les nuances plus ou moins légères qui différencient les couches.

M. Daubrée fait la communication suivante :

Expériences sur la **schistosité** *des* **roches** *et sur les* **déformations** *de* **fossiles** *corrélatives de ce phénomène; conséquences géologiques qu'on peut en déduire,*

par M. **Daubrée.**

Pl. XIX.

Des roches minéralogiquement très-diverses, et fort différentes aussi par leur mode de formation originelle, se présentent avec la texture désignée sous le nom de *schisteuse* (1). Cette texture, bien connue dans les ardoises, affecte beaucoup de roches stratifiées fossilifères, particulièrement les plus anciennes. Elle est aussi très-développée dans le gneiss et dans la plus grande partie des masses cristallines qui servent de fondement à la série des terrains sédimentaires. Enfin certaines masses évidemment éruptives en offrent des exemples. Le développement considérable des masses schisteuses dans l'écorce terrestre n'est pas moins digne d'attention que leur diversité. Il importe donc de rechercher les causes qui ont déterminé cette disposition dans les particules des roches.

La *schistosité* ou *fissilité* a été souvent désignée sous le nom de *clivage,* particulièrement dans les roches stratifiées. Au clivage se rattache, dans les roches cristallisées, un caractère analogue, que l'on a cru devoir désigner sous un nom particulier, celui de *foliation* ou de *lamination*. Les gneiss et les leptynites en offrent les exemples les plus connus.

Avant de présenter les résultats d'expériences qui ont eu pour but d'éclairer et de préciser les conditions dans lesquelles cette texture a pris naissance, il convient de rappeler succinctement les faits caractéristiques auxquels l'observation a conduit sur ce sujet, faits qui ont servi d'objectif aux expériences.

(1) Déjà Vallerius, dans sa classification, avait fait le groupe des *fissilia;* de Saussure employait le nom expressif de *roches feuilletées*.

I. FAITS ACQUIS PAR L'OBSERVATION RELATIVEMENT A LA SCHISTOSITÉ.

Clivage dans les roches stratifiées. — Le nom de clivage, qui est emprunté à la cristallographie, représente, en effet, dans les roches un caractère assez analogue à celui que possèdent les cristaux. On sait qu'un rhomboèdre de spath d'Islande, parfaitement transparent, n'ayant aucune fissure perceptible à l'œil, se brise très-facilement suivant une série de plans parallèles à ses faces. Cette propriété remarquable est en rapport, comme le démontrent les caractères optiques, avec la différence que présentent les groupements moléculaires, suivant la direction que l'on considère. De même, le bloc de roche dont on doit extraire des ardoises, ne possède pas, en général, de fissures préexistantes, comme celles qui séparent les couches des terrains stratifiés ou des prismes de basalte contigus; on peut facilement le constater sur des échantillons polis; mais, soumis à un choc, ces échantillons se brisent en feuillets minces, suivant une certaine direction, à laquelle correspond un *minimum de cohésion*. Ainsi, comme les plans de clivage des cristaux, les plans de clivage des roches ne sont pas toujours, dès l'abord, apparents et sensibles; ils sont souvent latents ou virtuels.

Toutefois, cette ressemblance du clivage dans les roches et dans les minéraux n'empêche pas d'établir une distinction importante. Tandis que dans un cristal le clivage est invariablement en rapport géométrique avec les faces, le clivage des roches se poursuit, tantôt en traversant des associations d'innombrables cristaux, visibles ou microscopiques, tantôt des masses d'apparence amorphe.

Il est aussi à remarquer qu'à côté du clivage le mieux caractérisé, il en existe quelquefois un second moins facile. Ce dernier a été constaté par les ouvriers qui exploitent l'ardoise, notamment dans le département des Ardennes, où il a reçu le nom de *longrain*. Ce second clivage est généralement placé perpendiculairement au clivage principal; il s'écarte peu de la ligne de plus grande pente (l'écart observé à Fumay est ordinairement de 6° 20′).

Des observations faites dans des contrées très-diverses ont démontré ce fait important, que les plans de clivage sont bien distincts des plans de stratification qui divisent les mêmes massifs de roches; en effet, au lieu de leur être parallèles, ils leur sont fréquemment obliques. Ce qui est encore plus concluant, c'est que dans les cas nombreux où les couches ont été ployées et présentent des inclinaisons variées, les plans de clivage se poursuivent, avec régularité, au milieu des inflexions les plus prononcées des couches auxquelles ils appartiennent, en restant toujours parallèles entre eux. C'est par exemple ce que l'on

observe dans les ardoisières de Fumay (Ardennes), où la stratification est accusée par des alternances réitérées de quartzites verdâtres avec le schiste ardoisier violet (1).

Cette indépendance montre, en outre, que les plans de clivage se sont produits, non-seulement après que les couches où ils se manifestent s'étaient déposées, mais encore lorsque ces couches avaient déjà perdu leur horizontalité première, sous de puissantes étreintes.

Toutefois, dans bien des cas, les plans de clivage se sont produits parallèlement à la stratification (2). Cette concordance fréquente ne prouve aucunement contre la différence d'origine qui vient d'être signalée entre l'un et l'autre mode de division.

Enfin on peut remarquer que, même dans les régions schisteuses, les phyllades ne possèdent qu'exceptionnellement une fissilité assez grande pour pouvoir être débités en ardoises. Ainsi, aux environs de Fumay, de Deville, de Rimogne, les zones susceptibles d'être exploitées comme telles n'ont que des dimensions très-limitées.

Quand le feuilleté passe d'une roche dans une roche d'espèce différente, il persiste souvent dans sa situation, mais en présentant une différence d'intensité, et quelquefois en subissant, sur la limite, des inflexions dont de la Bèche a montré divers exemples (3).

Étirements, déformations (distorsions) manifestés par les fossiles. — Les déformations considérables et variées que présentent les Trilobites, les Brachiopodes et en général les fossiles renfermés dans les roches schisteuses, sont bien connues (4). Depuis qu'il a été constaté que ces déformations ou distorsions sont en rapport avec la cause de la fissilité, elles peuvent guider dans la recherche des forces auxquelles les roches elles-mêmes ont été soumises.

(1) Sauvage et Buvignier, *Statistique minéralogique et géologique du dép. des Ardennes*, p. 125.

Ce fait, qui avait déjà été signalé autrefois par divers observateurs, Voigt, Von Hof, Schmidt, Bakewell, Parrot (1826), a été bien démontré par Sedgwick dans le Pays de Galles, pour un district de 45 kilomètres de longueur sur 12 à 15 kilomètres de largeur, où les couches sont très-ployées (*Remarks on the Structure of large Mineral Masses, and especially on the Chemical Changes produced in the Aggregation of Stratified Rocks during different Periods after their Deposition Transactions of the geological Society of London*, 2e sér., t. III, p. 461; 1835).

(2) Ce parallélisme habituel a été remarqué au Harz, en Saxe, en Bretagne, en Écosse, en Devonshire et dans le système du Rhin, par Hausmann, Naumann, Durocher, Macculoch, de la Bèche, Baur et de Dechen.

(3) *The Geological Observer*, p. 706; *Report on the Geology of Cornwall*, p. 275.

(4) A la suite des études classiques de Sharpe sur ce sujet, je me fais un plaisir de mentionner ici les ingénieuses mesures de M. Dufet (*Annales de l'École normale supérieure*; 1875).

Observées particulièrement dans les roches siluriennes (1) et dévoniennes (2), ces déformations de fossiles se rencontrent également dans les roches moins anciennes qui sont devenues schisteuses : ainsi elles sont fréquentes dans les couches jurassiques des Alpes (3); comme exemples appartenant au terrain crétacé, je citerai des Ammonites des Corbières et notamment de l'étang de Leucate (4).

Un second type, non moins fréquent que les changements de courbure, est présenté par les Bélemnites de diverses localités des Alpes, qui ont été tronçonnées et dont les segments se sont plus ou moins écartés. Ces faits ont été remarqués depuis longtemps, dans quelques parties du massif du Mont-Blanc, particulièrement au Mont-Joli, au Mont-Lachat et dans la chaîne des Aiguilles-Rouges, dans le Mayenthal, près Wasen (Uri) (5), ainsi que dans les Alpes bernoises, au Faith de Sailles, dans les dolomies oxfordiennes (6). Une Bélemnite qui originairement avait 5 à 7 centimètres de longueur, atteint jusqu'à 30 centimètres ; les tronçons sont ordinairement disposés suivant une ligne droite. Des Bélemnites étirées de la même manière se rencontrent aussi dans les schistes argilo-calcaires exploités pour ardoises dans l'Oisans, le Valbonnais, le Valgaudemar et autres localités des Alpes françaises (7).

Toutes ces déformations, tous ces brisements, ont amené à cette induction, que la schistosité a été engendrée par des pressions mécaniques, aussi bien que les déformations et écartements auxquels elle se rattache (8).

Foliation ou lamination dans les roches cristallines. — Un caractère analogue, qui dans les roches cristallines a reçu le nom de foliation ou de lamination, est déterminé par la disposition parallèle qu'y affectent les faces homologues des minéraux cristallisés constitutifs. Le

(1) On connaît les *Calymene* des ardoises siluriennes d'Angers, qui sont si déformées et d'une manière si variée ; au contraire, comme l'a observé M. Dufet, des Crustacés du même genre (*Calymene Tristani* et *C. Arago*) ont conservé leurs formes à La Hunaudière (Loire-Inférieure), lorsqu'ils étaient empâtés dans des rognons durs qui les ont préservés du laminage.

(2) Ardoisières dévoniennes de Tintagel (Devonshire).

(3) Lory, *Descr. géol. du Dauphiné*, p. 106.

(4) Collection de M. Adrien Paillette déposée au Muséum : n°s 74 et 79.

(5) M. Pierre Mérian en a donné une très-bonne description (*Bericht über die Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft in Basel*, t. VII, p. 55; 1845); — Studer, *Geologie der Schweiz*, t. I, p. 374. — Voir aussi: Alph. Favre, *Recherches géologiques sur les parties de la Savoie.... voisines du Mont-Blanc*, t. III, p. 165.

(6) D'après M. Renevier.

(7) D'après M. Lory.

(8) Daniel Sharpe a bien démontré ce fait.

parallélisme est particulièrement frappant pour le mica, la chlorite, le talc et les autres minéraux en lamelles ; mais il se manifeste aussi pour des minéraux tabulaires, comme l'orthose et l'oligoclase. Les substances métalliques, comme l'oligiste, y prennent également part, notamment dans l'itabirite.

Parmi les observations dont la foliation a été l'objet, il faut particulièrement signaler celles de Poulett Scrope et de Daniel Sharpe (1).

Nous réunirons ici les deux termes de clivage et de foliation sous le nom unique de *schistosité*.

Diversité et abondance des roches feuilletées. — En passant en revue les principales roches où l'on observe la schistosité, on reconnaît combien ces roches sont minéralogiquement variées.

Parmi les roches stratifiées, les schistes argileux ou phyllades, et les nombreuses variétés qui s'y rattachent (schistes à séricite, etc.), sont celles où la structure feuilletée est particulièrement caractérisée. Cette structure, très-fréquente dans les roches fossilifères les plus anciennes, siluriennes et dévoniennes, persiste parfois dans des terrains beaucoup plus récents, lorsque ces terrains ont été soumis à des dislocations. En maintes localités des Alpes, des ardoises sont exploitées dans des roches jurassiques, crétacées et tertiaires éocènes.

Ces mêmes terrains à phyllades renferment parfois des calcaires où la texture schisteuse est très-marquée, surtout lorsque ces calcaires sont impurs. Des calcaires phylladifères (calschistes) et arénifères, très-développés dans la Maurienne et la Tarentaise et attribués au terrain triasique, en offrent des exemples. Le terrain jurassique des Pyrénées en présente aussi (2). Des calcaires feuilletés, tels que les cipolins, sont fréquents dans les terrains cristallisés.

C'est dans des conditions semblables de gisement que se trouvent des quartzites schisteux ; leur feuilleté correspond à la présence, tantôt du mica, tantôt du talc, tantôt de la chlorite (itacolumite), tantôt de l'oligiste (itabirite). D'autres minéraux, tels que le disthène et le graphite, peuvent être également interposés entre les feuillets (3).

On sait combien la schistosité est remarquable dans le gneiss, qui

(1) Poulett Scrope a supposé, depuis longtemps, que la foliation, comme le clivage, des schistes à grain fin, est due au glissement de leurs parties cristallines ou semi-cristallines, lorsqu'elles étaient à l'état visqueux (*Considerations on Volcanos*; 1825).

(2) Leymerie, *Esquisse géognostique des Pyrénées de la Haute-Garonne*, p. 51.

(3) Exemples : quartzites subordonnés au gneiss aux environs de Freyberg (collection du Muséum, n[os] 71, 68, 69), aux phyllades de la Belgique (d'après Dumont); quartzites feuilletés de la Norwége (Durocher, *Études sur la structure orographique et la constitution géologique de la Norwége, de la Suède et de la Finlande*, p. 63).

occupe une si large place, avec le granite, dans l'assise cristallisée. Cette roche est susceptible de se débiter en dalles très-minces, comme la variété très-micacée des environs de Chiavenna, qui sert à couvrir les habitations (1). Les micaschistes, talcschistes et chloritoschistes sont bien connus pour leur structure essentiellement feuilletée.

Dans la roche granitoïde à laquelle on a donné le nom de leptynite, la structure schisteuse est d'autant plus digne d'attention que le mica y est ordinairement peu abondant. Le quartz y forme d'innombrables feuillets parallèles, parfois très-minces, qui traversent la masse feldspathique cristalline, et de nombreux cristaux de grenat sont souvent disposés parallèlement à ces plaques (2).

Des transitions insensibles unissent, dans beaucoup de lieux, le granite au gneiss et au leptynite, c'est-à-dire que le granite devient graduellement feuilleté. Il n'est, pour ainsi dire, pas de contrée granitique qui n'offre des exemples de tels passages. Lors même que rien dans l'aspect du granite n'accuse cette structure, les ouvriers qui ont à le tailler savent y reconnaître certaines directions suivant lesquelles la roche se fend plus facilement que dans d'autres : ils y distinguent *un grain* ou *un fil,* dont ils tirent parti dans leur travail.

La protogine offre aussi la liaison la plus intime avec les roches feuilletées, ainsi que le signalent toutes les descriptions du massif du Mont-Blanc données depuis de Saussure.

Dans les syénites les cristaux de feldspath sont souvent disposés parallèlement les uns aux autres, par leurs faces homologues, comme dans les Ballons des Vosges et surtout aux environs de Dresde et de Meissen en Saxe (3).

De même, la roche à néphéline ou miascite de l'Ilmen devient graduellement schistoïde.

Comme le mica, l'amphibole, par sa forme en prismes allongés, a coopéré efficacement à donner une structure schistoïde aux roches dont ce minéral fait partie constituante, particulièrement aux amphibolites et aux diorites (4).

La structure schisteuse est souvent très-prononcée dans les roches éruptives, où la stratification proprement dite n'a pas eu de part, bien que d'ailleurs les minéraux en paillettes, comme le mica, si propres à

(1) Échantillon 10. X. 37 de la collection du Muséum.

(2) Exemple, le leptynite de Penitz près Dresde.

(3) Dans les grandes carrières exploitées près Plauen, à 50 kilomètres de Dresde, cet alignement est très-net.

(4) Comme exemples pris dans la collection du Muséum, on peut citer les amphibolites schistoïdes de Labassère (Hautes-Pyrénées), du Saint-Gothard, des environs de Hammerfest, de Ceylan, et le diorite schistoïde de la vallée de Héas (Pyrénées)

produire cette structure, y fassent ordinairement défaut; on peut dire qu'elle peut se rencontrer dans toutes les espèces de roches éruptives.

En beaucoup de localités le porphyre feldspathique montre, d'une manière frappante, la structure dont il s'agit. La disposition veinée ne résulte pas seulement des différences de coloration ; le quartz s'y est souvent séparé, de même que dans le leptynite, sous la forme de feuilles parallèles, de manière à mériter à ce porphyre le nom allemand de *Papierporphyr*, qui lui a été donné autrefois. Cette propriété a été parfaitement décrite dans le porphyre de Dobritz, près Meissen, en Saxe (1), où le quartz est non-seulement en gros grains isolés, mais aussi en forme de lames, avec des sphérulites. On peut aussi citer celui d'Asbach et d'autres localités du Thüringerwald (2), et la contrée de la Lenne, où, d'après M. de Dechen, il y a parfois un passage complet du porphyre au phyllade (3). Les eurites connues en Suède sous le nom de *Haelleflinta*, si souvent rubannées, appartiennent à la même catégorie.

Dans le mélaphyre, comme de Buch l'a reconnu pour celui du Tyrol, les cristaux d'oligoclase sont souvent à peu près alignés (4). Je ne ferai que mentionner, au même point de vue, la diabase, le gabbro, l'éclogite, l'hypersthénite, la serpentine (5), l'anamésite et la minette (par exemple, celle des Vosges) (6).

La texture feuilletée a été depuis longtemps observée dans les divers types de roches trachytiques, qui sont souvent devenus schistoïdes, rubannés ou tégulaires, par le parallélisme des tables de sanidine. Aux environs du Puy-en-Velay, le trachyte se divise en tables et en dalles que l'on y exploite (7). Parmi les exemples que l'on pourrait citer, je me bornerai à rappeler ceux des Iles Ponces, sur lesquels Poulett Scrope a depuis longtemps appelé l'attention (8), et celui du Drachenfels près de Bonn (9).

(1) Naumann, *Lehrbuch der Geognosie*, t. I, p. 617.

(2) Credner, *Thüringerwald*, p. 63.

(3) *Geognostich Uebersicht des Bergam*, p. 75.

(4) Von Richthofen, *Bemerkungen über die Trennung von Melaphyr und Augitporphyr*, p. 35.

(5) La serpentine et l'euphotide dans les Grisons, d'après M. Studer.

(6) Delesse, *Mémoire sur les Roches des Vosges : Minette (Annales des Mines*, 5e sér., t. X, p. 517), p. 541; 1856; — Daubrée, *Descr. géol. et min. du dép. du Bas-Rhin*, p. 35.

(7) Bertrand-Roux, *Description géognostique des environs du Puy-en-Velay*, p. 114-119.

(8) *Trans. Geol. Soc.*, 2e sér., t. II, p. 195.

(9) Vom Rath, *Das Siebengebirge*. Les cristaux sont brisés, ce qui prouve qu'ils étaient formés quand la roche elle-même jouissait encore d'une certaine plasticité.

On sait d'ailleurs que les roches trachytiques produites actuellement par les volcans, sous forme de coulées de laves, prennent également la structure schisteuse. A Santorin, d'après M. Fouqué, qui a fait une étude approfondie de cette île remarquable, il est des laves qui peuvent servir comme dalles, à la manière des micaschistes. Des laves feuilletées, doléritiques et feldspathiques, ont été recueillies par M. Vélain aux îles Saint-Paul et Amsterdam, et par M. Filhol à l'île Campbell, ainsi qu'il ressort des collections déposées au Muséum par ces jeunes savants. Comme on l'a remarqué depuis longtemps, les cavités vides ou remplies qui se rencontrent dans ces roches, sont alignées parallèlement aux feuillets.

Je rappellerai enfin que la structure schistoïde est souvent caractérisée dans le phonolithe (Haute-Loire, Puy-de-Dôme, Islande).

Lors même que le type de texture qui nous occupe n'est pas reconnaissable à l'œil nu, il est très-souvent discernable au microscope. La texture fluidale, dont le rhyolithe et d'autres variétés de trachyte offrent le type, se montre dans beaucoup de roches cristallines anciennes, ainsi que l'ont fait voir les études de M. Michel-Lévy relatives à ces dernières (1).

D'un autre côté, l'étendue des masses feuilletées dans l'écorce terrestre n'est pas moins digne d'attention, que la diversité des roches dans lesquelles se présente ce caractère. Toutes les parties du Globe offrent des exemples de leur grand développement. On peut citer, à ce titre, la France centrale, l'Écosse, la Moravie, la Suède, la Norwége, la Finlande, la partie septentrionale des États-Unis, le Canada, une portion considérable de l'Amérique du Sud, notamment le Brésil, certaines parties de la Nouvelle-Zélande, de l'Australie, etc. Partout les roches granitoïdes du groupe du gneiss paraissent former le soubassement des terrains stratifiés : ce que l'on voit de ces roches n'en représente donc qu'une faible partie.

C'est surtout quand on pénètre dans l'intérieur des chaînes de montagnes, où des épaisseurs considérables de roches sont souvent mises à nu par des déchirures et des escarpements naturels, qu'on est témoin de l'importance des roches schisteuses cristallines. Tel est le cas pour les nombreux massifs centraux des Alpes, dans l'Oisans, le Piémont, le Salzbourg, etc. Il en est de même des Alpes Scandinaves, de l'Oural et de bien d'autres chaînes appartenant à toutes les parties du Globe.

En résumé, si l'on remarque combien les roches feuilletées abon-

(1) En examinant au microscope la texture des briques zéolithiques de Plombières, on y reconnaît une structure tout à fait analogue à celle des roches fluidales ; la consistance plastique qui a donné naissance à cette texture peut donc être due à des circonstances diverses.

dent de toutes parts dans les terrains paléozoïques et surtout dans les roches cristallines, on peut dire que, dans la partie de l'écorce terrestre accessible à nos investigations, la texture schisteuse occupe un développement comparable à celui de la stratification, et qu'elle en forme un trait non moins remarquable.

Autres caractères en rapport avec la schistosité. — Les agents qui ont produit le feuilleté ont aussi donné naissance à d'autres caractères.

Tel est le *parallélisme linéaire* que l'on constate très-fréquemment dans les gneiss, micaschistes, schistes amphiboliques, quartzites, itabirites, itacolumites, roches à graphite, etc. (1). Le parallélisme linéaire très-prononcé que présentent de grandes plaques de gneiss, de la collection spécifique du Muséum, offre une ressemblance frappante avec quelques-uns des produits d'expérience dont il va être question.

Dans des roches qui n'avaient pas les conditions de plasticité convenables pour acquérir la structure feuilletée, les pressions internes ont laissé parfois une empreinte de nature différente, mais non moins significative. On peut en observer des exemples dans les Alpes, sur les calcaires phylladifères de la vallée de Tignes en Tarentaise. Beaucoup de calcaires entrelacés de veines argileuses, tels que certains marbres de Campan et des marbres griottes, présentent aussi des indices évidents du même mode d'action.

Je rappellerai également, comme autres indices d'étirement, ceux que j'ai observés dans les phyllades et les quartzites de la montagne du Roule, près Cherbourg (2), et qui consistent dans l'aplatissement des nodules de quartz et de pegmatite dans le sens des feuillets, et dans un étirement linéaire de beaucoup de géodes contenant du quartz, du feldspath et de la chlorite, qui ont pris des formes tubulées, de manière à rappeler les cellules étroites et parallèles de certains Polypiers.

Les roches sont parfois non-seulement feuilletées, mais aussi finement *plissées* et *fibreuses* (3). A côté du calcaire de Klam, en Tyrol, qui a été bien souvent cité comme tel, je me bornerai à mentionner un phyllade subluisant, à pâte très-fine, à feuillets constamment ridés, provenant de la vallée de Tignes en Tarentaise (4). Les calschistes du terrain jurassique des Pyrénées sont souvent comme filandreux (5). En Écosse

(1) Je ne puis que renvoyer aux excellentes observations que Naumann a faites sur ce sujet.

(2) *Observations sur la nature des actions métamorphiques qu'ont subies les roches des environs de Cherbourg. Mémoires de la Société I. des Sciences naturelles de Cherbourg*, t. VIII.

(3) Le mot *Gefältelte* a été employé pour désigner cette texture ou *fibrosité*, dont le talc luminaire présente des exemples en Tyrol, au Zillerthal et aux États-Unis.

(4) Recueilli par M. Cordier et déposé au Muséum.

(5) D'après M. Leymerie.

le calcaire, comme le phyllade, est quelquefois fibreux comme du bois (1).

II. EXPÉRIENCES FAITES POUR EXPLIQUER LA SCHISTOSITÉ ET LES CARACTÈRES QUI S'Y RATTACHENT.

Depuis qu'il a été constaté que la schistosité est indépendante de la stratification, la cause d'une disposition géométrique aussi remarquable et aussi générale, a été l'objet de diverses hypothèses. On l'a attribuée tantôt à des actions cristallines, tantôt à des effets électriques. La seconde de ces suppositions s'appuyait surtout sur ce résultat, annoncé par Robert Fox (2), que l'argile humide, en présence de courants électriques, peut devenir schisteuse. Le magnétisme terrestre, la chaleur interne, un commencement de cristallisation, ont aussi été invoqués comme causes de cette texture (3). Ces origines, qu'on pourrait qualifier d'occultes, ont cependant été admises par des savants aussi éminents que de la Bèche (4), Hopkins (5) et Scheerer (6).

Pendant que ces hypothèses se discutaient, un autre caractère, non moins essentiel, était mis en évidence par des observations exactes et nombreuses : c'est que la production du clivage, dans les terrains stratifiés, se montre en rapport, d'une part avec les actions qui ont déformé les fossiles dans les mêmes couches, d'autre part avec les axes de redressement et les grandes lignes de dislocation (7). Selon toute probabilité, ce phénomène devait donc être attribué à des actions mécaniques.

C'est cette idée, qui paraît aujourd'hui très-simple, que M. Sorby a soumise au contrôle de l'expérimentation (8). Ce savant, auquel on

(1) Macculloch, *Geological classification of Rocks*, p. 125.

(2) *Report of the Cornwall Polytechnic Society*, 1837. M. Robert Hunt a poursuivi ces recherches (*Memoirs of the Geological Survey of Great Britain*, t. I, p. 433; 1846).

(3) Sedgwick, John Herschel, Lyell (*Elements of Geology*), Darwin (*Geological observations on South America*, p. 168). — Boué pense que la chaleur, cause de ce changement de texture, a été apportée par les roches éruptives.— Quenstedt, *Epochen der Natur*, p. 192.

(4) *Report on the Geology of Cornwall*, p. 281; de la Bèche pensait que les forces polaires sont en relation avec le magnétisme terrestre.

(5) *On the Connexion of Geology and Terrestrial Magnetism* ; 1851.

(6) *Archiv für Mineralogie*, par Karsten, t. XVI, p. 109 ; 1842.

(7) Notamment par M. Baur et par M. D. Sharpe.

(8) *The Edinburgh new Philosophical Journal*, t. LV, p. 437; 1853; *The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine*, t. XI, p. 20, et t. XII, p. 27; 1856.

était déjà redevable d'autres recherches ingénieuses, avait préalablement reconnu, en examinant au microscope la disposition de leurs éléments, que les roches feuilletées ont éprouvé une compression. Puis, en mélangeant de l'oligiste en paillettes à de l'argile blanche, et en soumettant le mélange à la compression, il obtint une masse clairement feuilletée.

M. John Tyndall alla plus loin (1) : il produisit une structure feuilletée tout à fait semblable à celle de l'ardoise, dans certaines substances plastiques, comme la terre de pipe et la cire d'abeilles, en les comprimant et en les soumettant à une espèce de laminage.

Des expériences que j'ai faites vers la même époque (2), par d'autres procédés, m'ont conduit à la même conclusion. Utilisant des presses à balanciers mues par la vapeur, et d'autres moyens énergiques de compression, je reconnus que pour produire dans l'argile une texture feuilletée, il faut : 1° que la substance puisse éprouver des glissements et s'étendre par un commencement de laminage ; 2° que la masse comprimée soit douée d'un degré particulier de plasticité : trop sèche, elle se brise ; trop molle, elle se lamine, sans que les feuillets puissent s'isoler.

D'un autre côté, le même sujet était abordé théoriquement par des considérations empruntées à la physique mathématique et à la théorie de l'élasticité, notamment par MM. Hopkins (3), Laugel (4) et le professeur Haughton (5).

Ayant déjà rendu compte ailleurs (6) des résultats d'expérimentation que j'ai obtenus récemment dans la production du feuilleté et dans la déformation des fossiles, particulièrement dans les Bélemnites tronçonnées, je n'y reviendrai pas ici. Au moyen d'une presse hydraulique puissante, on a forcé à s'écouler, sous de fortes pressions, de l'argile plastique, soit mélangée de sable ou de mica, soit pure ; on a opéré dans des conditions diverses, en faisant varier successivement, dans sa forme et dans sa disposition, le bloc d'argile soumis à la pression, ainsi que l'orifice par lequel cette argile s'écoulait, de manière à rechercher comment la texture feuilletée se modifie avec la nature de la substance et le sens du mouvement.

Des cristaux autres que ceux de mica s'alignent régulièrement dans

(1) *The London, Edinb. and Dubl. Phil. Mag.*, t. XII, p. 35 ; 1856.

(2) *Études et Expériences synthétiques sur le Métamorphisme*, p. 111 du mém. in-4°, p. 132 du mém. in-8° ; 1859-60.

(3) *The Edinb. new Phil. Journal*, t. XLV ; 1848.

(4) *Bull. Soc. géol.*, 2ᵉ sér., t. XII, p. 363 ; 1855.

(5) *The London, Edinb. and Dubl. Phil. Mag.*, t. XII, p. 198 ; 1856.

(6) *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences*, t. LXXXII, p. 710 et 798.

ce mode d'écoulement. Ainsi, quand on ajoute successivement à la pâte de petites tiges cylindriques et, à défaut de feldspath sanidine, de petites plaques de plomb de même forme, les unes et les autres se placent parallèlement à la schistosité, à laquelle elles contribuent pour leur part.

Comme complément des expériences exécutées sur l'écoulement des substances argileuses, j'en ai fait d'analogues sur des substances ramollies et rendues plastiques par la chaleur, et pour cela j'ai profité du concours obligeant de M. Ch. Feil. L'opération se fit sur un verre riche en plomb *(flint)* et très-*tendre*, que l'on fondit dans une mouffle. Le verre, refroidi jusqu'à n'être plus très-fluide, fut forcé de s'écouler, soit sous l'action d'un piston, soit sous celle d'une vis. L'examen des stries présentées alors par le flint montra que le mouvement avait eu lieu comme on pouvait le supposer. Ces stries très-fines, accusées par des différences de réfraction, se reconnaissent mieux encore sur des plaques minces.

Pour compléter la démonstration expérimentale de la schistosité, il convenait de reproduire aussi les déformations de fossiles qui sont corrélatives du premier phénomène et qui lui servent de témoins permanents. Quoique l'ensemble du phénomène ne puisse plus guère laisser de doute, il restait encore à en reconnaître les circonstances, par exemple le degré de consistance que pouvait posséder la roche lors de ces mouvements. C'était à l'expérience à nous éclairer sur ce sujet.

La résistance d'une Bélemnite ordinaire était trop grande pour qu'on pût la tronçonner au milieu de l'argile, au moins dans les circonstances de pression dont on pouvait disposer. Pour remédier à cette difficulté et obtenir une rupture sous un moindre effort, on a taillé dans de la craie une série de cônes très-allongés, ayant la forme d'une Bélemnite ordinaire. Ce sont ces imitations de Bélemnites qui ont été l'objet d'une première série d'essais, dans lesquels on a produit l'écoulement, tantôt par écrasement, tantôt suivant le sens de la pression. La figure 3 de la planche XIX représente l'un des résultats obtenus par le premier mode.

Dans d'autres expériences, j'ai opéré sur des Bélemnites naturelles *(B. niger)*, mais après les avoir enchâssées très-exactement, au moyen du moulage, dans une masse de plomb en forme de parallélipipède. La masse de plomb était soumise à une pression d'environ 50 000 kilogrammes. On a ainsi obtenu des Bélemnites tronçonnées, dont les fragments sont plus ou moins espacés, exactement comme les types naturels qu'on avait en vue. Les figures 4 et 5 de la planche XIX montrent une même Bélemnite avant et après l'écrasement.

III. OBSERVATIONS THÉORIQUES ET DÉDUCTIONS RELATIVES AUX ROCHES SCHISTEUSES.

Conditions dans lesquelles peut se produire la schistosité. — Jusqu'à présent, la texture schisteuse des roches n'avait été imitée expérimentalement qu'au moyen d'une pression exercée perpendiculairement au plan de schistosité. Or, dans les expériences qui font l'objet du mémoire précité, on voit naître un feuilleté des mieux caractérisés, sous des conditions différentes ; car les feuillets s'y produisent, et cela pour des bandes de plusieurs mètres de longueur, *dans le sens même de la pression et du mouvement.*

C'est un résultat qui trouvera son application dans l'histoire des roches schisteuses cristallines à feuillets à peu près verticaux, particulièrement dans celles qui occupent le centre de certains massifs montagneux.

Ces mêmes expériences conduisent aussi à modifier l'explication théorique qui est généralement admise. Un corps incomplétement solide, ou doué d'une certaine plasticité, étant soumis à une pression énergique, qui le force à s'écouler dans le sens suivant lequel il rencontre le moins de résistance, se comporte à peu près comme le ferait un liquide très-visqueux. Dans ce mouvement, les molécules voisines ne marchent pas uniformément ; les différentes vitesses qu'acquièrent les molécules contiguës les font glisser les unes sur les autres. De là un alignement prononcé des éléments de formes diverses, cristaux, lamelles aplaties ou particules microscopiques.

Cette texture schisteuse ou feuilletée, conséquence directe d'un glissement, offre nécessairement une situation en rapport avec le mode et la direction de l'écoulement, ainsi qu'on le constate pour les diverses dispositions successivement employées dans les expériences.

On voit donc que c'est à tort que certains géologues ont voulu distinguer dans les roches schisteuses, d'une part le clivage, d'autre part l'alignement des cristaux connu sous le nom de foliation ou de lamination. Ces deux caractères remarquables dérivent de la même cause, et l'expérience les produit dans des conditions identiques et simultanément ; aussi les avons-nous compris ici sous le nom unique de schistosité (1).

Il n'est pas nécessaire que la masse plastique soit mélangée de parties *visiblement* différentes, pour acquérir la texture schisteuse. Une même substance, tout en étant chimiquement homogène, peut ne pas

(1) Le résultat auquel l'observation avait conduit Darwin et Sharpe est donc pleinement consacré par l'expérience.

l'être dans sa constitution physique, par exemple dans son degré de cohésion. C'est ce qui paraît arriver en général, même dans des corps, comme le plomb métallique ou le verre fondu, dont l'uniformité d'aspect ne ferait pas soupçonner de semblables différences (1).

En outre, dans les expériences faites par voie d'écoulement, aussi bien que dans celles de compression directe, on voit qu'il suffit d'un trajet très-court, de quelques centimètres à peine, pour que les particules s'alignent et qu'un feuilleté très-régulier se manifeste.

L'examen microscopique des masses feuilletées artificiellement contribue encore à les assimiler aux roches feuilletées naturelles. Des sections très-minces, pratiquées sur ces pâtes perpendiculairement aux feuillets, soit après une simple dessication à la température ordinaire, soit après une calcination au rouge, montrent des feuillets minces, qui se dessinent par des teintes différentes et qui se contournent autour des grains quartzeux, à la manière de ce qui arrive dans les micaschistes pour les feuillets de mica qui enveloppent chaque grenat.

Ce qui ajoute encore à leur ressemblance avec les roches naturellement feuilletées, c'est la manière dont ces produits d'expérience se comportent quant à la conductibilité de la chaleur, soit à l'état cru, soit après la cuisson. M. Jannettaz, qui a bien voulu, sur ma demande, en soumettre quelques-uns à l'expérience, y a reconnu, sur les tranches des feuillets, et même dans leur plan, des ellipses analogues, par la dimension relative de leurs axes, à celles qui se dessinent sur les schistes naturels.

On peut de plus constater ici, avec exactitude, comment les axes de conductibilité sont placés par rapport aux directions des mouvements relatifs sous l'action desquels la substance s'est écoulée. Cette relation pourra être mise à profit pour l'histoire physique des roches anciennes.

Il importe de remarquer que toutes les actions d'écoulement ou d'écrasement qui ont imité la déformation des fossiles et l'écartement des Bélemnites, ont en même temps produit le feuilleté dans l'argile qui enveloppait ces corps. C'est une coïncidence conforme à celle qu'avait signalée l'observation des faits géologiques. On a de plus reconnu que, pour que la masse enveloppante ne pénètre pas entre les tronçons des Bélemnites, même sous forme de bavures, ainsi qu'il arrive dans les exemples naturels précités, il faut que cette masse ne soit plus pâteuse, mais à peu près à l'état solide.

(1) Pour le plomb, le fait s'est manifesté dans une expérience faite par M. Tresca sur un cylindre de ce métal.

La texture feuilletée peut se produire aussi par des procédés autres que celui qui vient d'être mentionné (1).

Le moyen qui se présente naturellement à l'esprit, est analogue à celui par lequel on prépare les pâtisseries feuilletées (2). Mais ce procédé ne paraît avoir que bien peu d'analogie avec les phénomènes naturels.

D'un autre côté, je dois rappeler comment j'ai obtenu autrefois le feuilleté dans mes expériences sur la formation d'espèces minérales dans l'eau suréchauffée (3). En même temps que le tube de verre, transformé dans sa constitution chimique, se gonfle considérablement, il prend une texture schisteuse très-prononcée ; les feuillets dans lesquels il se clive facilement sont quelquefois si minces qu'on peut en distinguer plus de dix dans un millimètre d'épaisseur ; parfois ils se détachent aussi nettement les uns des autres que les feuillets d'un cahier de papier à lettres. Quand le verre est incomplétement attaqué, le centre, quoique vitreux encore, montre aussi des zones très-fines, comme les agates-onyx. Le tout rappelle donc bien la manière d'être de certaines roches schisteuses et cristallines.

Le feuilleté qu'acquièrent ainsi des tubes de verre est un effet évident du mode de fabrication : lors de l'étirement du tube, la pâte vitreuse a subi dans sa texture une action semblable à celle que les expériences précédentes ont fait acquérir à l'argile. Pour l'œil nu, cette hétérogénéité de constitution est cachée sous une apparente homogénéité ; mais elle peut être décélée à l'aide de l'action si subtile de la lumière polarisée. Cessant d'être, en quelque sorte, latente, elle se manifeste quand la substance, après avoir été plus ou moins modifiée par l'action chimique de l'eau, a subi un retrait. Ce fait, dont on trouverait divers exemples dans l'industrie, montre comment la disposition primitive des matériaux constitutifs d'une roche, quoique ayant disparu par suite d'actions ultérieures, peut cependant s'y trouver encore à l'état latent et se révéler dès que des influences nouvelles la mettent au jour.

Il convient, sans doute, de tenir compte, dans le mode de formation de certaines roches schisteuses, de cette manifestation, par épigénie ou métamorphisme, de la structure feuilletée.

(1) Je ne mentionnerai que pour mémoire le clivage que M. Fox a annoncé se produire dans l'argile sous l'influence de courants voltaïques.

(2) On enduit de mica ou de graisse une couche d'argile, puis, en repliant cette couche un certain nombre de fois sur elle-même et en la laminant, on obtient une masse feuilletée, qui ressemble aux roches schisteuses naturelles et qui participe également à leurs propriétés, en ce qui concerne la conductibilité de la chaleur.

(3) *Études et Expériences synthétiques sur le Métamorphisme*, p. 112 du mém. in-4°, p. 134 du mém. in-8° ; *Bull. Soc. géol.*, 2e sér., t. XV, p. 99 ; 1857-60.

Déductions à tirer des expériences pour l'intelligence de la texture des roches schisteuses. — Après avoir constaté expérimentalement avec quelle facilité se produisent le clivage et la foliation dans des masses imparfaitement solides qui s'écoulent sous de fortes pressions, et après avoir vu qu'il suffit pour cela d'un très-faible déplacement relatif de leurs particules, on ne peut plus s'étonner de la diversité minéralogique des roches schisteuses, non plus que de l'abondance avec laquelle plusieurs de ces roches se présentent dans l'écorce terrestre. Cette texture est d'ailleurs indépendante du mode de formation de la roche et de la cause de sa plasticité, que cette cause soit l'eau, comme dans les masses argileuses, ou la chaleur, comme dans les laves.

Un fait des plus fréquents est le passage graduel des roches massives à des roches feuilletées de même composition minéralogique. Il n'est pas de contrée granitique qui n'offre de nombreux exemples de ces transitions, qu'il s'agisse de granite proprement dit, de protogine ou de syénite. On le voit journellement dans le percement du Saint-Gothard. Les porphyres et diorites des Ardennes en présentent des exemples bien connus (1). Or, l'expérience montre que des échantillons de la même argile, à des états de dessication faiblement différents, étant soumis à la compression, fournissent des couches juxtaposées, les unes schisteuses, les autres dépourvues de ce caractère, qui contrastent entre elles. Cette influence du degré de plasticité, que j'avais reconnue dans mes premières expériences (2), rend compte des différences que l'on observe dans un même massif de roches partiellement schisteuses.

Le mode de consistance de la pâte soumise à l'écoulement a une grande influence sur le degré plus ou moins net du feuilleté. Cela paraît expliquer pourquoi les pâtes de nature argileuse ou marneuse ont joui d'un privilége à cet égard. Les calcaires et les quartzites, lorsqu'ils étaient mélangés d'argile, sont devenus schisteux (calschistes de la Maurienne, quartzophyllades micacés).

Il est des géologues qui ont regardé le feuilleté des roches cristallines, telles que le gneiss, comme un vestige de stratification, et qui ont assimilé les feuillets à des couches minces (3). Cette supposition a servi à appuyer le nom de *métamorphiques*, qu'on a osé étendre à la totalité des roches de cette catégorie. Bien que j'aie cherché ailleurs à montrer l'importance du métamorphisme, je n'ai pas cessé de m'élever contre une conclusion hypothétique aussi absolue. Entre certains gneiss et le

(1) Sauvage et Buvignier. *Statist. min. et géol. du dép. des Ardennes*, p. 121 et 122.

(2) *Études et Exp. synth. sur le Métamorphisme*, p. 112 du mém. in-4°.

(3) L'origine éruptive de certains gneiss et de certains leptynites a été soutenue par divers géologues, notamment par M. Naumann et par M. Élie de Beaumont (*Bull. Soc. géol.*, 2e sér., t. IV, p. 130 ; 1847).

granite il n'y a pas plus de distance qu'entre les laves feuilletées et les laves massives. L'observation qui précède suffit pour montrer combien il y a lieu, à plus forte raison, d'être circonspect dans les supputations, que l'on prétend faire dans divers pays, des épaisseurs de ces roches.

Dans les terrains cristallisés dont il s'agit, la schistosité est très-fréquemment parallèle aux plans qui séparent les roches de diverses natures, gneiss, micaschistes, calcaires, quartzites, c'est-à-dire aux plans de séparation de masses qui ont l'apparence de couches. Cette concordance, qui est ordinaire en Finlande, au Brésil et dans d'autres contrées, a été considérée par Durocher comme un effet direct d'une stratification antérieure, dans laquelle les paillettes de mica, en raison de leur tendance à se déposer à plat, marqueraient, par leur parallélisme, les plans de division des couches (1).

Cependant cette circonstance me paraît plutôt devoir s'expliquer autrement, soit que les minéraux cristallisés et interposés entre les feuillets fussent déjà formés lorsque la schistosité s'est produite, soit que ces minéraux aient cristallisé postérieurement et se soient disposés alors suivant les plans des feuillets. En effet, dans les terrains stratifiés et fossilifères, la schistosité est loin d'être toujours oblique à la stratification; elle lui est souvent parallèle. On comprendra la fréquence de cette conformité, si l'on se reporte aux expériences précédentes et aux conditions d'écoulement qui produisent le feuilleté, notamment à l'expérience dans laquelle on voit une Bélemnite placée d'abord en travers venir bientôt s'aligner parallèlement au jet.

C'est ainsi que des roches éruptives subordonnées aux roches sédimentaires, si ces roches n'étaient pas tout à fait solidifiées lors du mouvement qui a causé la schistosité, ont dû se feuilleter parallèlement aux surfaces qui les limitent et parallèlement aussi aux feuillets des roches sédimentaires voisines. Les exemples de faits analogues sont fréquents dans les diabases du Nassau, dans les porphyres de la Lenne (Westphalie), et plusieurs des cas problématiques signalés dans des roches anciennes de la Belgique et de l'Ardenne française paraissent devoir leur être assimilés; on conçoit, en effet, qu'un tel parallélisme puisse laisser dans le doute sur l'origine, éruptive ou sédimentaire, de certaines roches cristallines.

En général, la schistosité se rattache, comme on vient de le voir, aux mouvements qui ont ployé les couches. Cependant il est des roches qui paraissent avoir pris une texture analogue à celle dont il vient d'être question, sans qu'elles aient cessé d'être horizontales. Tels sont notam-

(1) *Études sur la structure orographique et la constitution géologique de la Norwége, de la Suède et de la Finlande, Mém. Soc. géol. Fr.,* 2e sér., t. V, p. 40.

ment les schistes bitumineux du terrain permien (Igornay près Autun, Thuringe, etc.) et peut-être les bogheads d'autres provenances, ceux de Ménat (Puy-de-Dôme), qui appartiennent au terrain tertiaire, les marnes magnésiennes de Saint-Ouen, peut-être certaines marnes du Grès bigarré (Letten) (1). Des roches qui avaient originairement une consistance très-favorable au développement de la schistosité, ont pu acquérir ce caractère sous la simple pression des masses qui leur sont superposées.

Bandes bleues des glaciers. — Les bandes bleues (structure veinée) que présentent les glaciers et dont Forbes a le premier fait ressortir l'importance (2), sont parallèles à l'axe d'écoulement et paraissent s'expliquer aussi par les expériences qui précèdent.

Dans bien des cas où les roches se sont écoulées de manière à prendre la structure schisteuse, leur consistance se rapprochait probablement autant de l'état solide que celle de la glace des glaciers.

IV. RELATIONS DE LA SCHISTOSITÉ AVEC LES GRANDS ACCIDENTS DE LA STRUCTURE ET DU RELIEF DU SOL, PARTICULIÈREMENT DANS LES CHAÎNES DE MONTAGNES ; STRUCTURE DITE EN ÉVENTAIL.

On a vu plus haut comment l'examen des déformations et étirements des fossiles a conduit à faire intervenir une action mécanique dans l'origine de la schistosité. L'étude des faits d'ensemble consultés sur une plus grande échelle confirme ce résultat.

D'une part, quoique très-fréquent dans les terrains anciens, le clivage ne s'y rencontre pas toujours et ne leur est pas exclusivement propre. Ainsi on ne trouve pas de véritables phyllades dans les couches siluriennes et dévoniennes de la Suède, de la Russie ou des États-Unis, qui ont conservé leur horizontalité première et qui, d'ailleurs, n'ont pas été métamorphisées.

D'autre part, des schistes susceptibles d'être exploités comme ardoises sont connus dans des terrains plus récents, mais disloqués. Ce sont des faits fréquents dans le terrain carbonifère des Alpes (Vernayaz, Prarion) (3) et dans le Trias de la Maurienne et de la Tarentaise (schiste lustré, calschiste). Des couches jurassiques des Alpes sont exploitées pour ardoises sur beaucoup de points, notamment dans la plupart des communes de l'Oisans, du Valbonnais et du Valgaudemar

(1) Peut-être aussi au Plattenberg, près Glaris, où les couches sont peu inclinées.

(2) *Travels throught the Alps*, p. 157, 165, 166 et 372.

(3) Favre, *Rech. géol.*, t. III, p. 31.

(1); c'est à ce même terrain qu'appartiennent les ardoises de Cevins, les plus renommées de la Savoie (2), celles de Petit-Cœur (Tarentaise), de plusieurs parties de l'Ariége (3), de Marienthal en Hongrie, qui se débitent en feuilles très-minces. Le terrain crétacé fournit des schistes ardoisiers dans les Pyrénées, au Caucase, au Vénézuela et à la Terre de Feu. Enfin des ardoises de qualité supérieure à celles du Lias sont exploitées dans le terrain nummulitique, par exemple en Suisse, au Plattenberg près de Glaris; en Dauphiné, dans le Vallouise; en Maurienne, à Montricher et à Saint-Julien (4); dans les Basses-Alpes, près de Barcelonnette.

En résumé, des roches argileuses d'âge très-différent ont pris la nature d'ardoises, et cette transformation, de même que celle du métamorphisme minéralogique, se lie essentiellement à l'existence de dislocations.

La cause de la schistosité paraissant reconnue, on peut retourner la question et, dans certains cas, se servir de cette empreinte significative d'anciennes actions mécaniques, à peu près comme on se guide d'après les dislocations des roches sédimentaires, pour discerner les actions mécaniques subies par l'écorce terrestre. La position de ces feuillets, considérés dans leur ensemble géographique et topographique, est comparable à l'appareil enregistreur, fréquemment employé dans les expériences pour représenter des mouvements.

On s'est souvent demandé pourquoi, dans presque toutes les parties du Globe, les feuillets de gneiss et des roches schisteuses cristallisées sont fréquemment dans des positions voisines de plans verticaux. Les géologues qui considèrent ces feuillets comme les vestiges d'une stratification première, doivent supposer que toutes ces couches ont été redressées.

C'est particulièrement dans les massifs centraux des chaînes de montagnes, que cette disposition redressée du gneiss et de ses congénères mérite l'attention, à cause de la tendance à une régularité géométrique qui s'y manifeste fréquemment. Déjà de Saussure avait remarqué que le massif du Mont-Blanc « se divise en grands feuillets qui ont leurs plans exactement parallèles entre eux, et, ce qui est bien remarquable, qu'ils sont parallèles à la direction de la chaîne (5) ». De plus, ce grand observateur avait constaté que ces feuillets, qui sont à

(1) Lory, *Descr. géol. Dauphiné*, p. 99.

(2) Favre, *op. cit.*, t. III, p. 186.

(3) Mussy, *Carte géologique et minéralurgique du dép. de l'Ariége, Texte explicatif*, p. 261.

(4) Lory, *op. cit.*, p. 486 et 544.

(5) *Voyages dans les Alpes*, § 569.

peu près verticaux dans le centre du massif, prennent des positions inclinées dans les parties latérales, et qu'ils plongent symétriquement vers l'axe central, de manière à présenter, dans leur section transversale, la forme d'un *éventail entr'ouvert*. En outre, comme l'avait déjà remarqué Jurine, la protogine, qui forme la masse centrale, se lie par des passages graduels à des gneiss et à des talcschistes qui l'enveloppent sur une grande épaisseur, excepté du côté méridional (1).

Un autre trait de structure complète le premier : les terrains stratifiés ont été recouverts par des masses cristallines diverses, formant surplomb, qui ont été poussées au milieu d'eux, comme dans une déchirure en forme de boutonnière, suivant l'expression de M. Élie de Beaumont. C'est donc un renversement de l'ordre normal. De même que les schistes cristallins qui leur sont immédiatement juxtaposés, les roches stratifiées plongent vers l'intérieur du massif (2).

Une structure semblable a été reconnue ensuite dans d'autres massifs centraux de la chaîne des Alpes, particulièrement au Saint-Gothard, dans les Alpes bernoises, au Pelvoux, dans la chaîne de Belledone, ainsi que dans les Pyrénées, à la Maladetta et ailleurs.

Comment expliquer une disposition qu'on croirait anormale et exceptionnelle, si elle ne se reproduisait dans un grand nombre de massifs? Deux hypothèses principales ont été proposées, soit que l'on considère les feuillets des roches cristallines comme les indices de couches, soit que l'on suppose que ces masses, n'étant pas rigoureusement solides au moment de leur intercalation, se sont alors laminées.

Si on admet cette dernière supposition, c'est-à-dire que les roches cristallines jouissaient d'une certaine plasticité, comparable, par exemple, à celle des glaciers, leur nature feuilletée, ainsi que les principaux caractères de leurs feuillets, paraissent pouvoir s'expliquer assez simplement.

D'abord la poussée de bas en haut, qui a porté ces masses jusqu'à une altitude de plus de 4 000 mètres, lors même qu'elles n'auraient été que faiblement plastiques, a dû nécessairement y déterminer une schistosité, dont le feuilleté était parallèle aux parois de cet énorme jet, c'est-à-dire à peu près vertical. Il en a été ainsi tant que les masses sont restées encastrées et comprimées entre deux parois latérales.

Mais, lorsque ces masses, approchant de la surface, ont commencé à se dégager des puissantes pressions qu'elles venaient de subir, leur régime a dû se modifier.

Des expériences spéciales ont été faites pour éclairer le mode d'écoulement qui correspond à cette dernière condition.

(1) Favre, *op. cit.*, t. III, p. 298.
(2) Voir dans l'ouvrage précité de M. Favre les planches XVIII, XIX et XXII.

De l'argile préalablement bien malaxée et à peu près desséchée a été coupée en forme d'un prisme carré. Après l'avoir placée entre deux plaques carrées, de même dimension que la base du prisme, on l'a soumise à l'action de la presse hydraulique. Dans cette opération, il est sorti de chacune des quatre faces latérales une bavure, dont la forme évasée, par suite du changement de pression, se raccordait avec les faces du prisme. La masse ainsi déformée présente, dans sa cassure transversale, une texture essentiellement schisteuse, qui est ainsi disposée : dans toute la partie serrée entre les plaques, les feuillets sont à peu près parallèles aux deux parois ; mais dans la partie qui dépasse ces plaques, on voit les feuillets s'infléchir et s'éloigner de l'axe, de manière à être parallèles aux deux surfaces extérieures du jet, qui vont elles-mêmes en s'écartant de plus en plus. Le feuilleté est surtout prononcé à proximité des deux surfaces externes ; vers la partie centrale, il l'est, en général, beaucoup moins.

Cette expérience, qui a été répétée, donne toujours la même disposition. C'est comme un *fac-simile,* en miniature, de la structure feuilletée en éventail.

Du plomb soumis à une expérience analogue a donné des résultats non moins significatifs. Deux plaques rectangulaires de plomb ont été juxtaposées et soumises, entre deux pièces de fer, à une pression d'environ 10000 kilogrammes, soit 500 atmosphères, qui a déterminé leur écoulement : elles ont pris, à partir de la portion encastrée, une structure en éventail ; de plus, le feuilleté s'accuse, dans l'intérieur de la partie encastrée, par de nombreuses rides parallèles entre elles et au sens de l'écoulement (Pl. XIX, fig. 7 *a-c*).

En ce qui concerne les grands phénomènes mécaniques de l'écorce terrestre, l'expérimentation, qui ne peut les reproduire qu'en les réduisant à une très-faible échelle, n'est sans doute pas aussi concluante que pour la synthèse des anciens phénomènes chimiques et minéralogiques ; on ne doit y recourir qu'avec beaucoup de réserve, sous le risque d'en abuser. Il paraît cependant juste de prendre en sérieuse considération une ressemblance aussi fidèle, quant aux traits les plus caractéristiques, que celle qui vient d'être signalée. N'est-on pas autorisé à en induire une certaine analogie dans les causes, surtout dans ce cas particulier où la structure générale du massif montagneux est en relation manifeste avec la texture schisteuse des roches qui le constituent, c'est-à-dire avec un caractère de détail intime, qui rentre dans le domaine de l'expérience et dans celui du raisonnement ?

Effets dûs à la prolongation de mouvements graduels, postérieurement à ceux qui ont produit le feuilleté. — L'examen des minéraux que renferment les roches schisteuses cristallisées fait supposer qu'un

certain nombre d'entre eux étaient déjà formés quand la schistosité s'est produite. Tels sont les cristaux d'orthose, d'oligoclase, de mica, qui sont alignés comme dans les expériences qui précèdent. Il en est de même du grenat dans beaucoup de leptynites et de micaschistes, et de certains cristaux d'amphibole dans ces dernières roches.

Mais il est aussi des cristaux qui ont pris naissance plus tard, lorsque la roche avait déjà acquis la schistosité. C'est ce qui a eu lieu dans les phyllades pour les mâcles, notamment aux Salles de Rohan, en Bretagne, comme l'a montré Durocher (1). En effet les prismes appartenant à ces substances ne sont pas ordinairement couchés dans le plan des feuillets ; ils les coupent quelquefois obliquement et même perpendiculairement.

Cependant ces mâcles elles-mêmes ont été, dans certains cas, tordues et gauchies d'une manière évidente, comme on le voit, par exemple, à Marsac (Loire-Inférieure) (2). Ce dernier fait témoigne que la roche qui sert de matrice aux mâcles, bien que à peu près solide lorsqu'elle s'est feuilletée, a continué à se mouvoir pendant un certain temps sous l'influence des fortes pressions auxquelles elle était soumise. Telle paraît être également la cause de cristaux courbés, brisés ou écrasés, tels que les tourmalines ployées, puis ressoudées par le quartz, qui sont connues dans les schistes talqueux du Tyrol. C'est ce que prouve non moins clairement les plissements de feuillets qui sont si fréquents dans les roches schisteuses cristallines, gneiss, micaschistes et autres.

A ce dernier point de vue, la nature de la substance qui a rempli les intervalles existant entre les segments des Bélemnites des Alpes dont il a été question plus haut, mérite l'attention. Ces intervalles ne sont pas restés vides ; ils sont en général occupés, non par le calcaire argileux qui empâte le fossile, mais par une substance qui s'y est déposée chimiquement, sous l'influence d'une eau minéralisée. C'est tantôt de la calcite, tantôt du quartz, tantôt simultanément ces deux substances, qui sont à l'état cristallin. Ces minéraux sont évidemment venus remplir un espace qui était libre au moment de la séparation des tronçons; ce vide a appelé des infiltrations aqueuses et un dépôt de substances minérales. L'expérience a appris que le quartz hyalin, comme la calcite, cristallise facilement dans l'eau suréchauffée. L'association qui se constate ici est analogue à ce qui s'est produit à l'époque actuelle à Plombières, où de l'opale mamelonnée s'est déposée avec de la calcite.

(1) *Bull. Soc. géol.*, 2e sér., t. III, p. 552.

(2) D'après des échantillons recueillis et offerts à l'École des Mines par M. Rousselle, professeur à Grand-Jouan.

Or la calcite et le quartz ont une texture essentiellement fibreuse, et les fibres de ces deux espèces minérales sont dirigées parallèlement à l'axe de la Bélemnite, c'est-à-dire perpendiculairement aux bases circulaires qui terminent chaque tronçon. C'est une disposition semblable à celle des veinules de glace fibreuse que l'argile sécrète pendant l'hiver dans ses gerçures, ou à celle des veinules du gypse et du sel gemme, séparés au milieu de l'argile en fibres également perpendiculaires aux parois. Cette analogie porte à admettre que l'écartement des tronçons des Bélemnites dont il s'agit s'est aussi opéré graduellement. Les minéraux dont nous venons de parler sont comme les témoins permanents de cette dernière circonstance (1).

On sait que l'étude des filons métallifères a conduit à cette conclusion que, dans beaucoup de cas, les failles qui leur servent de réceptacles se sont ouvertes peu à peu.

Tous ces faits tendent à faire reconnaître de toutes parts, dans l'intérieur des roches, les vestiges de mouvements lents et graduels, qui se sont prolongés pendant longtemps.

EXPLICATION DE LA PLANCHE XIX.

Fig. 1. *Expérience pour la division d'une Bélemnite en segments plus ou moins distants, par l'écoulement de l'argile qui la renferme.*

L'argile remplit un réservoir en forme de prisme rectangulaire, que ferme le piston P ; un cylindre en craie, B, ayant la forme d'une Bélemnite, y est placé comme l'indique la figure. L'argile doit s'écouler par l'orifice O, sous l'action de la presse hydraulique et du piston P.

Fig. 2. *Jet d'argile dans lequel les fragments de la Bélemnite sont plus ou moins écartés.*

Dans le jet d'argile produit par l'écoulement, la Bélemnite de craie, lors même qu'elle est placée suivant l'axe et parallèlement au jet, se divise en fragments qui sortent successivement et à une certaine distance les uns des autres. C'est l'effet des vitesses différentes dont sont animés les filets d'argile qui saisissent l'échantillon sur ses diverses parties. Dans l'une des expériences, les tronçons étaient au nombre de sept et répartis sur une longueur de près de 2 mètres.

Fig. 3. *Cône de craie, en forme de Bélemnite, tronçonné dans l'argile, par écrasement.*

Fig. 4. *Bélemnite enchassée dans du plomb, avant l'écoulement.* Cette Bélemnite *(B. niger)*, B, est enchassée dans deux plaques de plomb, par moitié dans chacune d'elles. Cet encastrement a été obtenu en moulant séparément ces deux plaques sur la Bélemnite, de manière qu'elle s'y adapte bien exactement.

Comme cette disposition devait être modifiée par l'expérience, on l'a conservée

(1) Les calschistes de la Madeleine, près Moutiers, très-connus par les veines blanches de calcaire qui tranchent sur leur fond gris, présentent des faits du même genre.

par un moulage en plâtre, afin de pouvoir la comparer exactement au résultat que présente la figure 5.

Fig. 5. Cette Bélemnite, B', est divisée en tronçons qui se sont écartés pendant que le plomb enveloppant s'écoulait sous la pression. Chacune des deux plaques, en s'aplatissant, s'est agrandie comme il est indiqué par la figure.

Fig. 6. *Structure en éventail, avec schistosité, produite sur de l'argile, par compression.*

Un parallélipipède en argile, placé entre deux plaques carrées en fer et réduit par la compression à une épaisseur moindre, s'épanouit en dehors de ces plaques en forme de bourrelets saillants et feuilletés, E, dans lesquels la schistosité se manifeste, surtout si l'on a préalablement mélangé à l'argile des paillettes de mica.

Fig. 7 *a–c. Structure en éventail produite sur du plomb.*

Les deux plaques rectangulaires de plomb, P, ont 5 centimètres de largeur, 10 de hauteur et 1 d'épaisseur ; sur la grande face de chacune d'elles, que représente la figure 7 *a*, on trace préalablement au burin des lignes parallèles, qui, après la déformation, serviront à constater les caractères de l'écoulement. Puis les deux plaques sont juxtaposées par cette face, comme il est indiqué en projection par la figure 7 *b*. Un enduit de cire appliqué sur les deux surfaces en contact les empêche d'adhérer après l'opération.

La pression étant appliquée perpendiculairement au petit côté, comme l'indiquent les flèches, la figure de la grande face (P, fig. 7 *a* : P', fig. 7 *b*) se transforme dans la section P (fig. 7 *c*).

Cette face de jonction, P, offre, sur chacune des deux plaques, dans leur partie encastrée, une très-nombreuse série de rides saillantes et rentrantes, parallèles entre elles et au sens de l'écoulement. A partir de la portion encastrée, les rides vont en divergeant. Quant aux lignes tracées au burin, elles sont effacées dans la partie très-comprimée et ridée ; mais elles sont conservées vers les extrémités, qui ont échappé aux efforts principaux. L'ensemble de ces lignes indique nettement la structure en éventail.

En dehors du fait principal, il y a un fait secondaire qui mérite l'attention : ce sont les bavures (I, I', fig. 7 *c*) que la pression provoque des deux côtés sur le plomb, le long des faces de jonction des plaques de fer (F, F', fig. 7 *b*) qui le compriment. Le plomb, quoique solide, vient se mouler dans les fissures minces à travers lesquelles il est injecté, comme s'il était à l'état fluide. Il forme ainsi deux lames minces (I, I', fig. 7 *c*), ou crêtes, dont la plus grande hauteur correspond au centre du pincement. Les déchirures et les stries que présentent ces lames, marquent les circonstances du mouvement.

Ce fait peut lui-même trouver son analogue, par exemple dans l'intercalation, à travers les fentes, de certaines roches qui n'étaient plus fluides, mais qui étaient poussées par de fortes pressions.

M. **Labat** ne croit pas fondée l'objection tirée par M. Daubrée de la puissance infinie de la nature comparée à la force limitée de nos appareils. La puissance de la nature qui soulève les montagnes et disloque le sol est énorme, mais la résistance qu'elle rencontre l'est également. Dans l'expérimentation, on proportionne la résistance à la puissance, en opérant en miniature. La force que l'Homme peut développer sur un point donné est considérable ; nous en avons la preuve dans les machines et dans les armes de guerre. Que l'on additionne par la pensée une série de ces forces de propulsion et qu'on les reporte sur un kilomètre carré, l'on sera étonné de leur force totale.

M. G. **Dollfus** a observé les phénomènes signalés par M. Daubrée, dans la disposition de la poudre à canon en feuillets sous l'action de la pression. En 1870, dans les essais de compression de la poudre pour la composition des gargousses de 7, un excès de pression amenait toujours un feuilleté et une sorte de stratification très-manifeste dans un plan perpendiculaire à la direction de la pression.

M. Jannettaz présente les observations suivantes :

Sur la **conductibilité thermique** *de certaines* **roches** *rendues* **artificiellement schisteuses,** par M. **Jannettaz.**

M. Daubrée m'ayant fait l'honneur de me confier plusieurs des matières qu'il avait rendues schisteuses par les procédés qu'il vient de nous exposer, j'ai recherché leur conductibilité thermique au moyen de l'appareil que j'ai décrit dans mes précédentes notes.

Rien ne distingue ces matières des roches naturellement schisteuses. Comme dans celles-ci, les courbes s'y allongent parallèlement à la schistosité; le rapport des axes n'y atteint pas des valeurs moins considérables.

Je ferai remarquer, de plus, que les résultats de mes recherches sur la conductibilité de la chaleur dans les roches ont été constamment d'accord avec ceux que M. Daubrée a obtenus dans ses expériences.

Pour qu'une roche soumise à des actions mécaniques acquière la texture schisteuse, il faut, comme l'a démontré M. Daubrée, qu'elle soit dans un état de mollesse ou au moins d'humidité convenable. Aussi le verre, lors même qu'il est soumis à une pression considérable, se refuse-t-il à prendre cette texture, comme je l'ai démontré récemment. Je sais bien que de Sénarmont avait observé une ellipse de fusion sur du verre comprimé; mais j'ai montré à quoi devait tenir l'ellipticité dans les conditions où a été faite cette expérience (1).

Je crois donc qu'une matière ne peut devenir schisteuse que si les particules qui la composent possèdent une certaine mobilité. C'est une analogie de plus entre cette texture des roches et la structure cristalline. Il est inutile d'ajouter que je ne veux pas dire par là que les roches schisteuses sont cristallisées. Ce qu'il y a de commun entre ces roches et les matières cristallisées, c'est que leurs particules élé-

(1) *Bull. Soc. géol.*, 3ᵉ sér., t. IV, p. 121.

mentaires ont pris, les unes par rapport aux autres, des positions régulières ; c'est qu'elles conduisent mieux la chaleur suivant les directions de plus grande cohésion tangentielle, qui sont aussi, d'après mes expériences, celles de plus grande élasticité, ainsi que celles de plus grande densité réticulaire. Mais jamais la texture d'une roche, imprimée en bloc à sa masse, ne peut entraîner les contours réguliers d'une forme extérieure, et faire de la masse un cristal.

M. Jannettaz fait la communication suivante :

Note sur la **propagation** *de la* **Chaleur** *dans les* **corps cristallisés,**

par M. **Jannettaz** (suite) (1).

Dans une de mes notes précédentes, j'ai montré que l'étude des courbes de conductibilité thermique peut servir à distinguer les vrais clivages d'avec les plans de séparation, qui les imitent, sans avoir, comme eux, pour origine un arrangement des molécules essentiel au corps cristallisé qu'elles constituent. J'ai pris pour exemple le groupe des Pyroxènes, et j'ai prouvé que des cristaux d'une variété de Diopside, qui se divisent parallèlement à la base, ne possèdent dans cette direction que des plans de séparation, mais non pas des plans de clivage véritable, comme les auteurs modernes l'avaient admis du reste avant mes recherches. J'ai vérifié cette assertion à mesure que j'ai eu à ma disposition des matières faciles à faire tailler. J'ai pu, depuis cette époque, me procurer des échantillons de Cordiérite et des minéraux qu'on y rattache sans contestation.

On sait que la *Cordiérite* est un silicate d'alumine, de magnésie et de protoxyde de fer, dont les éléments satisfont à peu près à la formule $R^2\ \bar{R}^2\ \ddot{Si}^5$, dont les formes cristallines dérivent d'un prisme rhomboïdal droit de 119° et quelques minutes, et dont les clivages plus ou moins difficiles font partie de la zone verticale. On y rattache la *Gigantolite* de Tammela (Finlande) et la *Chlorophyllite* de Haddam (Connecticut). Celle-ci ne diffère de la Cordiérite proprement dite que par 4 ou 5 centièmes d'eau; la Gigantolite renferme un peu plus d'eau et surtout de protoxyde de fer. Dans les deux échantillons que j'ai soumis à l'observation, les courbes thermiques sont, comme dans la Cordiérite, des ellipses dont le grand axe est parallèle aux clivages prismatiques et perpendiculaire aux plans de séparation.

(1) V. *Bull.*, 3e sér., t. IV, p. 116.

Ainsi, tant que dans un groupe les clivages ne changent pas, il en est de même des courbes qui mesurent la propagation de la chaleur ; mais, s'il se présente dans une espèce de ce groupe un clivage véritable, quoique exceptionnel, il en résulte une perturbation correspondante dans l'orientation des axes de conductibilité thermique. C'est ce qui a lieu pour le groupe même des Pyroxènes, que j'ai pris pour type de la constance avec laquelle la chaleur s'y propage. On regarde aujourd'hui, surtout depuis les recherches de M. Des Cloizeaux; comme à peu près identique avec le Diopside, la Diallage, qui ne s'en distingue pas par l'orientation de ses lignes optiques, mais qui s'en éloigne par ses clivages, par son éclat et enfin par ses associations qui sembleraient devoir la rapprocher du groupe des Amphiboles.

De même que dans les espèces de ce dernier groupe, dans la Diallage que j'ai essayée et qui provient de la Spezzia, l'ellipsoïde thermique a son plus grand axe parallèle au plan h^1 , celui du clivage facile.

Dans une note précédente (1), j'ai dit que, si un corps est comprimé, l'attraction mutuelle de ses particules doit diminuer dans la direction où la pression s'exerce, et que, si la pression augmente de plus en plus, il peut y avoir rupture, ou qu'au moins les particules glissent latéralement pour se loger les unes entre les autres dans le plan perpendiculaire à la pression, sous cette condition, probablement, qu'elles possèdent une certaine mobilité relative, qui doit le plus souvent provenir d'un état particulier d'humidité. J'en ai conclu que la densité doit augmenter suivant ce dernier plan, et que la chaleur se propage plus facilement suivant les directions où la densité augmente.

La plupart des applications qu'on pourra tirer, je l'espère, des recherches dont je m'occupe, sont indépendantes de l'explication des faits; il suffit de remarquer que, si l'on comprime une masse matérielle, la cohésion dans le plan perpendiculaire à la pression devient supérieure à celle qui s'exerce dans le plan parallèle, et que c'est là, sans doute, l'origine de la schistosité qui se développe dans les matières soumises naturellement ou artificiellement à une pression, dans les conditions indiquées par les expériences de M. Daubrée. Cela ne peut plus être regardé comme hypothétique, et soustrait en même temps à toute contestation ce fait, que je retrouve partout et que j'ai dès l'abord énoncé sous cette forme : *La chaleur se propage plus facilement dans les corps suivant les directions de plus grande cohésion.*

M. Pellat donne lecture de la note suivante :

(1) *Bull.*, 3e sér., t. IV, p. 121.

Sur le **Corallien** *de* **Lévigny,** *près Mâcon* *(Lettre à M. Pellat),*

par M. **Tombeck.**

Vous connaissez, pour l'avoir vue dans ma collection, la belle série de fossiles qu'on peut recueillir dans les carrières de Lévigny, près Mâcon. Ces fossiles sont-ils oxfordiens ? Sont-ils coralliens ?

Jusqu'ici les géologues n'avaient aucune hésitation à cet égard, et moi tout le premier ; car, dans une note sur le Mâconnais que j'ai publiée dans le *Bulletin* en 1852, en collaboration avec mon ami M. Berthaud, aujourd'hui professeur à la Faculté de Lyon, nous n'hésitions pas à ranger dans l'Oxfordien la masse de plus de 15 mètres exploitée dans les carrières de Lévigny. Le même M. Berthaud, dans son intéressante *Description géologique du Mâconnais,* restée malheureusement inachevée, y voit maintenant de l'Argovien supérieur ; c'était également l'opinion du regretté M. de Ferry.

Pourtant, depuis longtemps, j'avais des doutes sur la légitimité de cette appréciation ; aussi ai-je profité de mon passage à Mâcon, au mois de mai dernier, pour aller visiter les carrières de Lévigny, que je n'avais pas revues depuis 20 ans. Aujourd'hui je suis fixé : la partie inférieure des couches qu'on y exploite appartient à l'Argovien ; le haut, au contraire, est incontestablement corallien.

Le Mâconnais, vous le savez, est traversé par plusieurs failles dirigées à peu près du nord au sud. Il résulte de cette disposition que, lorsqu'on marche de l'ouest à l'est, on voit affleurer successivement à la surface du sol, et à plusieurs reprises, toute la série des étages jurassiques.

Aussi, quand on va de Salornay à Flacé et à la montagne de la Grisière, en passant par Lévigny, on rencontre d'abord les différentes zones calloviennes ; on trouve ensuite des argiles à Ammonites pyriteuses, qui représentent l'Oxfordien proprement dit, puis des calcaires compactes à *Ammonites Martelli* et *Dysaster capistratus,* où l'on reconnaît facilement l'Argovien inférieur.

On arrive alors à la carrière de Lévigny et à ses couches litigieuses, au-dessus desquelles on voit, en continuant à marcher vers Flacé, un calcaire compacte et une oolithe blanche, couches où l'on ne peut méconnaître du Corallien, et enfin des calcaires à *Terebratula subsella, Pterocera Ponti,* etc., qui représentent évidemment le Calcaire

à Astartes. Le tout vient d'ailleurs, par l'effet d'une faille, butter contre le calcaire à polypiers de l'Oolithe inférieure.

Ainsi dans cette série il ne peut y avoir de sujettes à controverse que les couches exploitées dans les carrières de Lévigny.

Or, les deux tiers inférieurs de ces couches sont constitués par des calcaires compactes blanchâtres, en grands bancs, où j'ai recueilli : *Ammonites Martelli, Pinna lanceolata, Ostrea dilatata, Pholadomya myacina* et *P. decemcostata.* C'est incontestablement un niveau argovien, et même un niveau assez élevé dans la série, et je base cette assertion sur la forme de l'*Ostrea dilatata* qui abonde dans ces couches, et qui est grande et plate. Dans la Haute-Marne, en effet, cette variété ne se rencontre qu'à la partie tout à fait supérieure de l'Argovien. L'*Ammonites Babeanus,* que l'on y trouve également, mène à la même conclusion ; car dans la Haute-Marne cette Ammonite caractérise l'Argovien le plus supérieur.

Le tiers supérieur des mêmes couches, d'une épaisseur de 5 à 6 mètres environ, est formé par un calcaire jaunâtre, grumeleux ou plutôt lacuneux, dont les lits sont séparés les uns des autres par des lits marneux beaucoup plus tendres. C'est là la partie vraiment fossilifère et en même temps litigieuse de ces dépôts. Or, pour moi, elle représente un niveau corallien, celui de nos calcaires grumeleux de la Haute-Marne, celui des argiles à chailles ou des *Crenularis-Schichten* de la Suisse et du Jura. — Vous allez en juger.

Dans ces calcaires lacuneux j'ai recueilli un assez grand nombre d'Oursins, parmi lesquels les *Cidaris florigemma, C. coronata, Glypticus hieroglyphicus,* qui sont des fossiles habituels du Corallien. Il est vrai qu'avec ceux-là j'en ai trouvé quelques autres qui sont plus ordinairement argoviens ; il est vrai aussi que le *Cidaris florigemma* et même le *Glypticus hieroglyphicus* peuvent descendre assez bas dans l'Argovien. Il n'y a donc aucun argument à tirer de la présence de ces Oursins.

Je n'en tirerai non plus aucun de la série des Pholadomyes recueillies dans ces couches, et dont la plupart, dans la Haute-Marne, passent de l'Argovien dans le Corallien.

Mais un commencement de preuve résulte de ce que j'ai ramassé abondamment dans les couches supérieures de Lévigny, le *Pecten vimineus,* le *P. Moreanus,* la *Lima leviuscula,* l'*Ostrea Moreana,* etc., fossiles que je n'ai jamais trouvés qu'à des niveaux authentiquement coralliens.

La probabilité s'accroît encore de ce que ces mêmes couches m'ont donné les *Terebratella Richardiana, Megerlea Fleuriausa, Terebratula insignis, Ostrea gregaria,* etc., fossiles si caractéristiques de nos calcaires grumeleux de la Haute-Marne.

Enfin la série des Ammonites trouvées à Lévigny vient compléter la démonstration. J'y ai en effet recueilli les *A. Marantianus, A. bimammatus, A. tricristatus, A. polygyratus,* etc., qui appartiennent toutes à la zone à *A. bimammatus.* Or, ces Ammonites se rencontrent aussi bien à la base qu'au sommet de notre Corallien inférieur de la Haute-Marne, et vous n'ignorez pas d'ailleurs que les *Crenularis-Schichten,* ou, si vous l'aimez mieux, les calcaires grumeleux coralliens du Jura et de la Suisse, sont le gisement habituel de l'*Ammonites bimammatus.*

Et à tous ces fossiles il faut ajouter encore l'*A. Achilles,* dont on trouve à Lévigny, non pas des échantillons petits et douteux, mais d'immenses et typiques exemplaires. Or vous savez que l'*A. Achilles* caractérise essentiellement, non-seulement notre Corallien compacte de la Haute-Marne, mais encore nos calcaires grumeleux ou les couches synchroniques.

En faut-il davantage pour me permettre d'affirmer que, sans contestation possible, le tiers supérieur des couches de Lévigny appartient au Corallien inférieur ?

Il est vrai qu'on y trouve, et très-abondamment, un fossile qu'on est habitué à regarder comme argovien, la *Terebratula vicinalis.* Mais qu'est-ce qu'un fossile unique opposé à la masse de ceux que je viens de citer, surtout aujourd'hui que l'on sait que le passage de nombreux fossiles de l'un à l'autre de deux étages consécutifs est, non plus une exception, mais la règle générale ? D'ailleurs la *T. vicinalis* se rencontre assez fréquemment, dans la Haute-Marne, dans la zone à *Belemnites Royeri,* dont je faisais d'abord un niveau argovien, mais que j'incline aujourd'hui, avec M. Royer, à rattacher au Corallien.

Ainsi donc, on doit considérer le Corallien du Mâconnais comme constitué ainsi qu'il suit :

1° Couche grumeleuse à *Glypticus hieroglyphicus* et *Terebratella Richardiana,* de Lévigny.
2° Calcaire compacte.
3° Oolithe blanche.
4° Calcaire à Astartes.

Il serait sans doute difficile d'identifier, une à une, ces quatre couches, sauf pourtant les deux extrêmes, avec celles du Corallien de la Haute-Marne, où les oolithes et les calcaires compactes sont plus multipliés ; mais on ne peut se refuser à reconnaître que cette constitution est précisément celle du Corallien sur de nombreux points du Jura.

En terminant, je dois faire observer que, si la présence dans les couches de Lévigny que je rapporte au Corallien inférieur, des *Am-*

monites bimammatus, *A. Marantianus* et *A. tricristatus*, atteste l'existence, en ce point, de la zone à *A. bimammatus*, d'autre part, les *A. polygyratus*, *A. Palissyanus*, Font., et *A. Fialar*, qui s'y rencontrent également, démontrent que là aussi existe la zone à *A. tenuilobatus*.

Toutefois, si ces deux zones sont ordinairement, à Crussol par exemple, distinctes l'une de l'autre, la distribution des fossiles à Lévigny me porte à penser que, dans cette localité, il n'est guère possible d'établir entre elles une limite précise de démarcation.

Dans tous les cas, ce qui précède montre que les couches qui à Lévigny paraissent représenter la zone à *A. tenuilobatus*, appartiennent à un niveau bien inférieur au Calcaire à Astartes, où les géologues suisses et allemands placent cette même zone, de même qu'elles sont supérieures à l'Argovien, où les géologues du Midi croient devoir la faire descendre.

Les secrétaires analysent les notes suivantes :

Note sur la **direction** *adoptée pour le tracé des* **coupes** *de la* **Carte géologique** *du département de la* **Somme,** *et sur certains rapports entre la* **structure du sol** *de la* **Picardie** *et celle du détroit du* **Pas-de-Calais,**

par M. N. **de Mercey.**

Les lignes de coupe de la Carte géologique du département de la Somme devaient, pour être instructives, couper les plis parallèles de la Craie, alternativement anticlinaux et synclinaux, dont j'ai signalé la disposition en 1863.

Mais le parallélisme de ces plis n'était pas la seule condition dont j'avais à tenir compte ; car j'avais aussi reconnu, en 1863, l'existence, entre ces plis, de renflements paraissant alignés dans une direction constante d'un pli à un autre (1). L'un des exemples que j'avais donnés alors consistait dans l'alignement des pointements du terrain primaire visibles aux origines de la vallée de la Lys (entre Matringhem et Dennebrœucq), et de la craie à *Inoceramus labiatus*, qui apparaît à Beurainville, sur la rive droite de la vallée de la Canche.

D'un autre côté, j'avais remarqué qu'une ligne de partage dirigée de l'est d'Arras à l'est de Rouen limitait assez bien l'origine des eaux de toutes les rivières qui, à droite et à gauche de la Basse-Somme,

(1) *Bull. Soc. géol. de France*, 2e série, t. XX, p. 643.

coulent dans la même direction que cette rivière et, comme elle, se jettent directement à la mer. Cette ligne de partage, assez oblique par rapport à la direction elle-même de ces rivières ou des plis parallèles dont elles témoignent les influences, me paraissait parallèle à la ligne du littoral entre Saint-Valery-sur-Somme et Dieppe, ainsi qu'au cours de la Basse-Oise, qui, à l'opposé, limite la Picardie.

J'étais donc conduit à regarder cette direction comme celle que je devais choisir. Son adoption me permettait, en effet, de tracer plusieurs coupes parallèles avantageusement disposées. Une première coupe suivait le littoral entre Dieppe et Saint-Valery, avant de s'enfoncer dans l'intérieur des terres ; une seconde traversait très-symétriquement les rivières qui coulent parallèlement à droite et à gauche de la Somme; une troisième suivait la ligne de partage qui limite l'origine de ces rivières ; enfin, une quatrième et une cinquième traversaient des espaces dont la configuration est plus complexe mais n'en laisse pas moins discerner l'influence de ce système dont le cours de la Basse-Oise est la suprême expression.

En cherchant à mesurer cette direction, il me fut facile de constater qu'elle ne se manifestait pas seulement par des traits généraux, tels que ceux que je viens d'indiquer, mais qu'elle se révélait pour ainsi dire partout en Picardie. Toutes les feuilles de la Carte de l'État-major que j'avais à examiner en portaient les traces, d'autant plus accusées que le sol qu'elles représentaient était plus accidenté. Ainsi, une des premières feuilles comprises dans le report de la Carte départementale de la Somme, la feuille 7, dont j'avais eu à teinter la moitié inférieure, en fournissait des exemples multipliés. Je retrouvais, dans cette portion de la feuille, tout à fait contiguë à celle qui comprend l'alignement Matringhem-Beurainville que j'avais signalé autrefois, la même direction répétée un grand nombre de fois et avec une très-grande régularité, sous forme de sillons coupant les vallées de la Canche et de l'Authie. La feuille 12, contiguë à la précédente, offrait également de nombreux sillons suivant la même direction. Toutes les autres feuilles présentaient, avec plus ou moins de fréquence ou d'intensité, des traits analogues. Enfin, un dernier caractère très-tranché venait mettre en évidence la constance de cette direction, dont le sol de la Picardie porte l'empreinte.

Ce caractère consiste en ce que les ramifications latérales qui découpent les bords des vallées principales parallèles à la Somme, étant fréquemment dirigées suivant la direction dont il s'agit, en se faisant face sur les deux rives, il en résulte souvent l'apparence d'un même sillon dont la direction se transmet sans déviation d'une rive à l'autre, en formant alors avec le cours de la rivière, vers l'amont, un

angle obtus sur la rive gauche et un angle aigu sur la rive droite. Quelquefois même, ces sortes de sillons montrent une tendance bien marquée à passer d'une vallée à une autre. De semblables sillons, plus ou moins continus, se présentent également sur des espaces dont la configuration est plus complexe, et même ils ne manquent pas sur les plateaux les plus étendus, où on les retrouve encore sous forme de digitations parallèles.

Il fallait donc, pour mettre en évidence les plissements ou refoulements subis par la Craie de Picardie, entre la Flandre et la Seine, suivant une direction dont le cours de la Basse-Somme donne la valeur moyenne, et en même temps pour rester d'accord avec des accidents du sol indiquant un plissement plus serré, sinon aussi prononcé que le premier, tracer les lignes de coupe de la Carte géologique de la Somme obliquement par rapport à la ligne de la Basse-Somme et parallèlement à la direction du littoral, ou à celle de la Basse-Oise qui est identique avec elle.

Cette direction est orientée E. 38° N. à Amiens ; elle semble à peu près parallèle à la direction du *Primitif de Lisbonne,* marqué dans l'édition de 1866 du *Tableau d'assemblage de la Carte géologique de la France,* comme suivant, vers la limite sud-est du bassin de Paris, de Neufchâteau à Avallon, une ligne sensiblement parallèle à la direction des assises du terrain jurassique et du terrain crétacé inférieur de la Champagne.

J'ai eu à tracer sur la Carte du département de la Somme, et suivant la direction que je viens d'indiquer, cinq coupes parallèles entre elles et espacées de 24 en 24 kilomètres à partir du littoral.

Après avoir effectué ce travail, en faisant seulement usage de l'équerre, je remarquai que ces coupes présentaient une propriété singulière, qui leur était commune à toutes, et qui consistait en ce qu'elles étaient sensiblement orientées parallèlement à une des diagonales des quadrilatères obtenus en conservant comme abscisses tous les parallèles du canevas tracés de décigrade en décigrade, et comme ordonnées seulement les méridiens tracés de deux en deux décigrades. Cette diagonale était donc celle d'un quadrilatère très-peu différent d'un parallélogramme et mesurant deux décigrades en longitude sur un décigrade en latitude. Il n'y avait là qu'un hasard heureux ; car il suffirait, pour tracer d'après cette espèce de tracé loxodromique une ligne suivant une direction quelconque, de choisir des méridiens ou des parallèles convenablement espacés, ou d'interpoler des méridiens ou des parallèles tracés à l'équerre à des intervalles faciles à calculer trigonométriquement.

Ce tracé présentait, en outre, deux autres conditions avantageuses.

La première était de donner une première ligne tracée suivant le système que je viens d'indiquer, très-peu écartée de la ligne que j'avais d'abord tracée comme base des coupes suivant le littoral. La seconde consistait en ce que l'équidistance de 24 kilomètres adoptée entre les coupes était à très-peu près la même que celle comprise entre quatre diagonales consécutives, ce qui maintenait partout ce nouveau tracé jalonné par le canevas très-voisin du premier tracé déjà effectué.

Ayant mis à profit ces conditions favorables pour opérer un nouveau tracé des cinq coupes dont j'ai parlé, je constatai que les écarts entre les deux tracés étaient souvent presque nuls, et que nulle part ils n'atteignaient une valeur d'un kilomètre aux extrémités des coupes. C'est ce qui s'explique facilement, si l'on remarque que dans ce système l'erreur est nulle pour la direction N.-S. ou des méridiens, et à son maximum pour la direction E.-O. ou des parallèles. Cette erreur dépendant de la courbure des parallèles croît de l'équateur au pôle ; mais, à la latitude de la Picardie et sur une surface limitée comme celle de cette région, elle ne dépasse nulle part, dans le cas le plus défavorable, environ 2 kilomètres aux extrémités de coupes longues de plus de 150 kilomètres.

Ces considérations m'engagèrent à prolonger les coupes tracées à travers le département de la Somme, jusqu'à la Flandre d'une part et jusqu'à la Seine de l'autre. Je trouvai tant de facilité à exécuter ce travail, que j'intercalai, dans les intervalles de ces lignes de premier ordre, ainsi tracées de 24 en 24 kilomètres environ et espacées sur les méridiens de 4 en 4 décigrades, des lignes de second ordre équidistantes de 8 kilomètres environ et espacées sur le méridien de 2 en 2 décigrades. J'intercalai même, sur certains points, des lignes de troisième ordre, équidistantes de 4 kilomètres environ et espacées sur les méridiens de décigrade en décigrade, par suite du tracé de ces deux derniers ordres de lignes par tous les points d'intersection des méridiens et des parallèles restés libres lors du tracé des lignes de premier ordre.

Comme ce système de tracé, très-commode pour couvrir rapidement une feuille de la Carte d'État-major et même plusieurs feuilles contiguës, de lignes sensiblement parallèles à une direction donnée, comporte néanmoins une erreur fort appréciable aux extrémités de lignes un peu longues, je me suis contenté de l'employer à titre d'approximation, pour suivre avec rapidité, à travers toute la Picardie, des lignes parallèles à la direction de la Basse-Oise.

D'un autre côté, le premier tracé à l'équerre des coupes de la Carte de la Somme n'étant pas exempt d'erreur, par suite du système de projection de la Carte de France, et surtout à cause du retrait très-

inégal du papier, j'ai été conduit à le rectifier en le calculant par points. Ce tracé rectifié ne diffère que fort peu du premier et même du tracé d'après le canevas dont je viens de parler.

Mon but n'est pas aujourd'hui d'entrer, au sujet de ces coupes (1), dans d'autres détails, que j'aurai prochainement l'honneur d'exposer devant la Société géologique, en lui présentant la Carte géologique du département de la Somme. J'ai seulement voulu expliquer les motifs qui m'avaient conduit à choisir pour le tracé de ces coupes une direction déterminée. Cette direction, orientée E. 38° N. à Amiens, m'a paru établie d'après des considérations dont je viens d'essayer de démontrer la valeur. Sachant même que les démonstrations de ce genre sont rarement acceptées comme convaincantes, sans pièces à l'appui, j'aurais attendu la présentation de la Carte géologique elle-même, pour les exposer, si quelques lignes que j'ai lues dans un des derniers numéros du *Bulletin* ne m'avaient appris qu'un observateur d'une grande autorité avait, de son côté, reconnu l'existence en Picardie d'une direction identique avec celle que j'avais moi-même admise.

En lisant les premières lignes de la note de M. Hébert (2), je vis que le système de plis S. O. - N. E. qu'il signalait se rapprochait beaucoup de celui que j'avais été conduit à adopter ; il était seulement un peu plus relevé vers le nord. Dans les quelques lignes qui suivent l'indication générale de la direction de ce système, le savant professeur donne les jalons qui déterminent les alignements de trois plis. Je pouvais donc suivre ces plis avec facilité sur les feuilles de l'État-major que j'avais, depuis deux ans, couvertes du réseau dont je viens de parler, et reconnaître immédiatement les écarts qu'ils pouvaient présenter avec la direction de mes lignes ; il me suffit de quelques minutes pour faire les constatations suivantes.

Le premier pli, de Pressagny-l'Orgueilleux à Cambrai, ne s'écarte du tracé d'après le canevas que de 13 kilomètres sur une longueur de 170 kilomètres environ. Une ligne partant du clocher de Pressagny viendrait aboutir, entre Haucourt et Selvigny, sur la lisière sud du bois de Saint-Aubert, à 13 kilomètres au S. S. O. de Cambrai. La direction de ce pli serait donc un peu plus relevée vers le nord d'environ 1° que celle que j'ai adoptée.

Le second pli, passant par Rouen, Aumale, Picquigny et Arras, coïncide exactement avec le tracé d'après le canevas. Une ligne partant du clocher même de Rouen passe par le clocher même d'Aumale, à 1 900 mètres seulement au N. O. du clocher de Picquigny, et vient

(1) Ces coupes, dressées en 1873-74, ont été communiquées en octobre 1874 au service de la *Carte géologique détaillée de la France*.

(2) *Bull. Soc. géol. de France*, 3e sér., t. III. p. 579.

aboutir au faubourg Rouville à Arras. Sur une longueur de 152 kilomètres environ la coïncidence est complète. La direction de ce pli, qui passe très-près d'Amiens, serait donc exactement E. 38° N.

La ligne Arras-Rouen, ou plutôt E. d'Arras-E. de Rouen, dont j'ai parlé plus haut, peut donc être admise comme indiquant une des directions essentielles du sol de la Picardie, qu'elle traverse dans sa partie centrale.

Le troisième pli, passant à 10 kilomètres au sud de Fécamp, en mer au nord du Tréport, et aboutissant à Dennebrœucq, coïncide aussi, et de la manière la plus complète, avec le tracé d'après le canevas. Une ligne partant à 10 kilomètres au sud-est du clocher central de Fécamp, passant par Daubeuf-Serville, tombant en mer à l'embouchure du Dun, passant à 7 200 mètres au nord du clocher du Tréport, reprenant terre sur la rive droite et à l'embouchure même de la Somme, vient aboutir à Matringhem, seulement à 3 800 mètres au sud de Dennebrœucq et au point où commence l'affleurement primaire dont Dennebrœucq marque le centre. Je puis ajouter que cette ligne coïncide avec celle dont j'avais indiqué en 1863 les jalons Matringhem-Beurainville. Elle se trouve aussi être une des lignes de second ordre du réseau tracé d'après le canevas, et, par conséquent, elle passe à 8 kilomètres environ au nord-ouest d'une des lignes de premier ordre, qui se confond presque avec la coupe n° 1 de la Carte de la Somme, tracée suivant la base indiquée par la direction du littoral de Saint-Valery à l'est de Dieppe.

Le peu d'écart du premier pli de M. Hébert avec le tracé d'après mon système approximatif, la coïncidence absolue des second et troisième plis avec le tracé d'après le système que j'ai indiqué, prouvent que la direction des plis signalés par le savant professeur ne diffère pas de celle que j'ai adoptée pour les coupes de la Carte de la Somme. Ce n'est évidemment que par approximation que M. Hébert a indiqué la direction N. E., comme je viens d'ailleurs moi-même de désigner plusieurs fois, par abréviation, certaines orientations rapportées à des directions cardinales. Cette direction est seulement plus rapprochée du N. E. que de l'E. N. E., sa valeur exacte étant E. 38° N. à Amiens.

L'influence de cette direction se propage-t-elle au-delà de la Picardie, et est-elle, par exemple, sensible dans le détroit du Pas-de-Calais, comme le pense M. Hébert ?

C'est là une question que je n'aborderai, à mon tour, qu'avec réserve. Les savants qui ont discuté jusqu'à présent les conditions de percement du tunnel projeté n'ont eu à leur disposition que des matériaux bien insuffisants. Aussi, bien que l'on ait, à diverses reprises, tiré des

inductions du travail que j'ai publié en 1863 (1), j'aurais préféré continuer à garder le silence. Si je me trouve amené à formuler un avis, ce ne sera qu'en reconnaissant que les termes en seront ou incomplets ou inexacts, lorsque les résultats de l'exploration entreprise par MM. Potier et de Lapparent auront fourni les premières données positives sur la constitution géologique du détroit.

Cette direction se retrouverait dans une ligne tracée d'après le système dont j'ai parlé plus haut et rasant de très-près le littoral français du cap Gris-Nez à Sangatte. Elle se retrouverait aussi dans les sillons qui, sur le revers septentrional du Boulonnais, sont ouverts dans la Craie à *Micraster cor-testudinarium*. Elle ne s'écarterait pas de l'inclinaison N. E. indiquée par M. Chellonneix (2) pour la Craie du Blanc-Nez ; mais elle différerait sensiblement de l'inclinaison E. indiquée par le même géologue et aussi par M. Potier (3).

Quant à la possibilité d'une rencontre de faille suivant cette direction, elle n'est encore fondée que sur une hypothèse de M. Hopkins relativement au Weald. J'aurai un peu plus loin l'occasion de revenir sur cette hypothèse discutée par M. Barrois (4).

Je dois, auparavant, rappeler, à mon tour, que c'est à une direction entièrement différente que l'on doit rapporter, dans le Nord de la France, tous les grands plis de la Craie suivant lesquels se sont opérées des fractures dans les parties où l'intensité du refoulement a été assez grande pour ramener au jour les assises les plus anciennes du terrain crétacé.

Ce système, dont il me reste à parler, a été le premier reconnu dans le Nord de la France. Il peut être défini comme formé par les deux grands plissements de l'Artois et du Bray, à partir de l'axe anticlinal de chacun desquels une série de plis secondaires détermine une succession d'axes alternativement synclinaux et anticlinaux, jusqu'à la rencontre du grand pli ou axe synclinal de la Basse-Somme.

La régularité et la symétrie pour ainsi dire géométriques des plis de la Craie de Picardie, de chaque côté de l'axe de la Basse-Somme, ne se retrouvent pas, de l'autre côté de la Manche, dans la Craie du Hampshire. Il semble que dans l'intervalle le faisceau des plis se soit resserré en s'infléchissant vers l'E. N. E.

Cette inflexion, assez prononcée jusqu'à l'axe anticlinal du Weald qui correspond à l'axe de l'Artois, paraît aller en diminuant sur le

(1) Voir *Revue scientifique*, 2e sér., 4e ann., p. 1192 ; 1875 ; et, en dernier lieu, Barrois, *Ann. Soc. géol. du Nord*, t. II, p. 110.

(2) *Bull. Soc. géol. Fr.*, 2e sér., t. XXIX, p. 431.

(3) *Rev. scientif.*, 2e sér., 4e ann., p. 1120.

(4) *Ann. Soc. géol. du Nord*, t. II, p. 110.

versant septentrional de cet axe, de telle sorte que la Craie présente sur le bord anglais du détroit une direction S. E.-N. O., très-voisine de la direction normale en Picardie.

Cette direction elle-même des grands plis longitudinaux de la Craie ne me paraissant pas encore fixée d'une façon incontestable pour la Picardie, j'ai essayé de m'en rendre compte. Entre la direction O. 40° N. primitivement proposée par Élie de Beaumont, et la direction O. 45 à 46° N. admise par M. de Lapparent pour le pays de Bray et voisine de celle à laquelle on peut rapporter les plis étudiés par M. Hébert, il y a un écart de 5° au moins.

L'axe de la Basse-Somme m'a paru offrir, par sa position intermédiaire entre les plis de l'Artois et du Bray, et par la symétrie qui règne sur chacun de ses côtés, une base convenablement choisie. J'ai constaté que la direction de cet axe est bien marquée par le cours de la Basse-Somme, depuis l'embouchure de cette rivière au Crotoy, en face de Saint-Valery, jusqu'à Amiens, vers le confluent de la Haute-Somme, puis de là par l'Avre jusqu'à son origine et, en entrant ensuite dans le bassin de l'Oise, par la Divette jusqu'à son confluent avec la Basse-Oise. L'orientation de cette ligne diffère très-peu de la direction O. 40° N. proposée par Élie de Beaumont pour l'Artois et le Bray. Cependant elle paraît plus rapprochée de l'ouest de 1 à 2°.

J'ai donc été conduit à admettre pour cette ligne une direction symétrique de celle qui m'a occupé au commencement de cette note ; mais, au lieu d'un croisement rectangulaire, on aurait ici un croisement à angle obtus ou différant d'un angle droit d'environ 14°.

Serait-il permis de supposer qu'à la latitude de la Picardie on rencontrerait ainsi la manifestation d'une sorte de symétrie polaire dépendant de l'aplatissement du sphéroïde ? C'est là une question que je pose de nouveau, quoiqu'elle semble avoir été résolue dans un sens négatif par l'auteur de la *Notice sur les systèmes de montagnes* (1).

Sans insister davantage sur une hypothèse que je ne fais qu'énoncer, je dois ajouter que, conduit naturellement à faire de nouveau l'application, à cette direction provisoirement admise par moi, du mode de tracé approximatif que j'ai exposé au commencement de cette note, j'ai trouvé qu'elle s'accordait assez bien avec les grands plis longitudinaux de la Picardie, en admettant l'existence d'échelons assez fréquents.

Cette disposition en échelons s'accorderait avec le plissement transversal dont j'ai parlé d'abord, et annoncerait la possibilité de petites failles dans ce sens ou de rejets dérangeant la continuité des

(1) E. de Beaumont, *Not. sur les systèmes de montagnes*, t. III, p. 1244.

assises de craie partout où la flexibilité, cependant assez grande, de ces assises a dépassé sa limite.

J'ai déjà dit que ce plissement transversal paraît avoir été beaucoup plus serré que le plissement longitudinal ; mais il n'a nulle part déterminé de grands plis. Il y a donc lieu de croire que si les grandes fractures se présentent suivant les grands plis longitudinaux, on ne doit que rarement rencontrer des fractures d'une certaine importance suivant les petits plis transversaux.

En admettant même l'hypothèse de la rencontre d'une faille transversale, je crois qu'elle ne pourrait avoir assez d'importance pour ramener au niveau du tunnel des assises dangereuses, comme celles qui sont au-dessous de la Craie à *Holaster subglobosus*. Tant que la dénivellation s'arrêterait dans cette assise, rien ne prouve que sur les lèvres de la faille le contact ne serait pas à peu près aussi hermétique que dans les parties toujours plus ou moins fendues ou fissurées des assises de craie non fracturée.

Dans ce cas, les conditions du percement ne seraient peut-être pas très-différentes de celles que l'on rencontrera , si, par suite d'ondulations transversales fréquentes, on se trouve obligé de passer d'une assise de craie à une autre. Rien ne prouve, par exemple, que le passage de la Craie à *Inoceramus labiatus* à la Craie à *Holaster subglobosus* puisse s'effectuer sans danger.

Les deux directions dont il vient d'être question ne sont pas certainement les seules dont la Craie du Nord de la France porte l'empreinte. D'autres directions voisines de l'E. ou du N. N. E., et indiquées par les lignes du Primitif de Land's End et de l'Hécla d'Élie de Beaumont, qui se croisent au sud-ouest du détroit, sont au nombre de celles dont l'influence paraît s'être fait réellement sentir. Je n'aborderai pas ici l'examen de ces directions complexes et moins apparentes que celles des deux systèmes dont je viens, à mon tour, d'essayer de déterminer la valeur. Qu'il me soit permis, en terminant, de signaler une dernière particularité relative à la dernière de ces deux directions ; elle consiste en ce qu'une ligne tracée suivant le sytème de la Basse-Somme, d'après le procédé que j'ai exposé, et partant de la Chaussée, entre Saint-Pierre-les-Calais et Sangatte, vient aboutir, sur la côte anglaise, à la baie même de Saint-Margaret, en suivant de bien près le tracé du tunnel projeté.

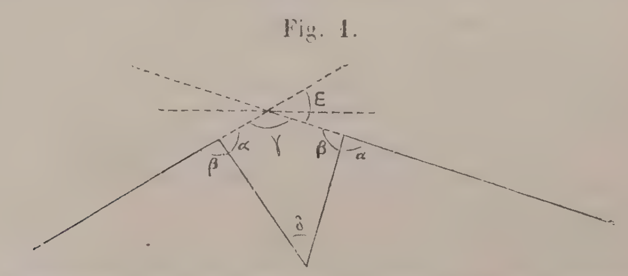
Stratigraphie de la montagne du **Môle,**
par M. Th. **Ébray.**

Nous avons vu dans nos notes précédentes sur les Voirons et le Salève (1), que des failles nombreuses, dirigées approximativement vers le nord, dessinaient les montagnes de la Haute-Savoie entre le Mont-Blanc et Genève. Nous avons montré que ce régime ne différait pas de celui que nous avions signalé dans la Nièvre, où les calcaires d'eau douce n'ont pas été sensiblement dérangés; ce fait prouve que les dislocations sont plus récentes à l'est qu'à l'ouest: vérité qui ressort d'ailleurs du mode de succession des lambeaux dont se compose l'écorce de la Terre.

Nous avons fait pressentir, en parlant du Petit-Salève, que les ruptures sud-nord n'étaient pas uniques, que déjà les grandes cluses du Haut-Rhône, de l'Arve, du Fier, de Moutiers, de la Maurienne et de Vizille, indiquaient qu'une autre cause de dislocation avait dû agir perpendiculairement à la première. Lors de la production des grandes failles, l'écorce ne s'est pas affaissée parallèlement à elle-même; il suffit de jeter les yeux sur les coupes longitudinales des lèvres des failles de la Nièvre, pour se convaincre que dans cette direction les couches forment une voûte surbaissée, dont la partie supérieure a été étirée. Il en est résulté des joints de rupture, et ce sont ces joints qui sont l'origine des cluses.

Nous avons vu que ce phénomène se reproduisait au Salève, et à propos du vallon de Monetier nous avons démontré que l'angle d'ouverture du vallon ou de la cluse était égal à la différence d'inclinaison des couches. Cette différence devient la somme quand les inclinaisons des couches sont en sens contraire, car (fig. 1), α étant l'angle que font

Fig. 1.



les couches avec l'un des versants du vallon, β l'angle qu'elles font

(1) *Étude stratigraphique des montagnes situées entre Genève et le Mont-Blanc, Bull.*, 4e sér., t. III, p. 601 ; *Stratigraphie du Mont Salève, Bull.*, 3e sér., t. IV, p. 460.

avec l'autre versant, on a : $\gamma = 180° - \varepsilon$; $\delta + \gamma = 180°$; donc : $\delta = \varepsilon$. C'est la somme de l'inclinaison des couches.

Nous aurons l'occasion d'appliquer ce résultat aux escarpements qui forment le pied du Môle. Mais on conçoit bien, quoique la plus grande partie des cluses représente simplement des fentes agrandies, qu'il puisse en exister d'autres avec complication de failles. La vallée de l'Arve est dans ce cas, et si nous commençons par en faire connaître la disposition générale, ainsi que les autres phénomènes de dislocation qui commandent la structure du Môle, c'est pour initier de suite le lecteur à l'influence des grandes causes ; il pourra ainsi, dans son esprit, y rapporter tous les détails de la stratigraphie de cette curieuse montagne, au fur et à mesure qu'ils se produiront, et, nous devons le dire de suite, ces détails sont nombreux et nous ne pourrons tous les mentionner. Les failles, bavures, structures en éventail, voûtes, brouillages, dénudations, éboulements, se succèdent sans interruption, demandant à l'observateur de les examiner à leur véritable point de vue.

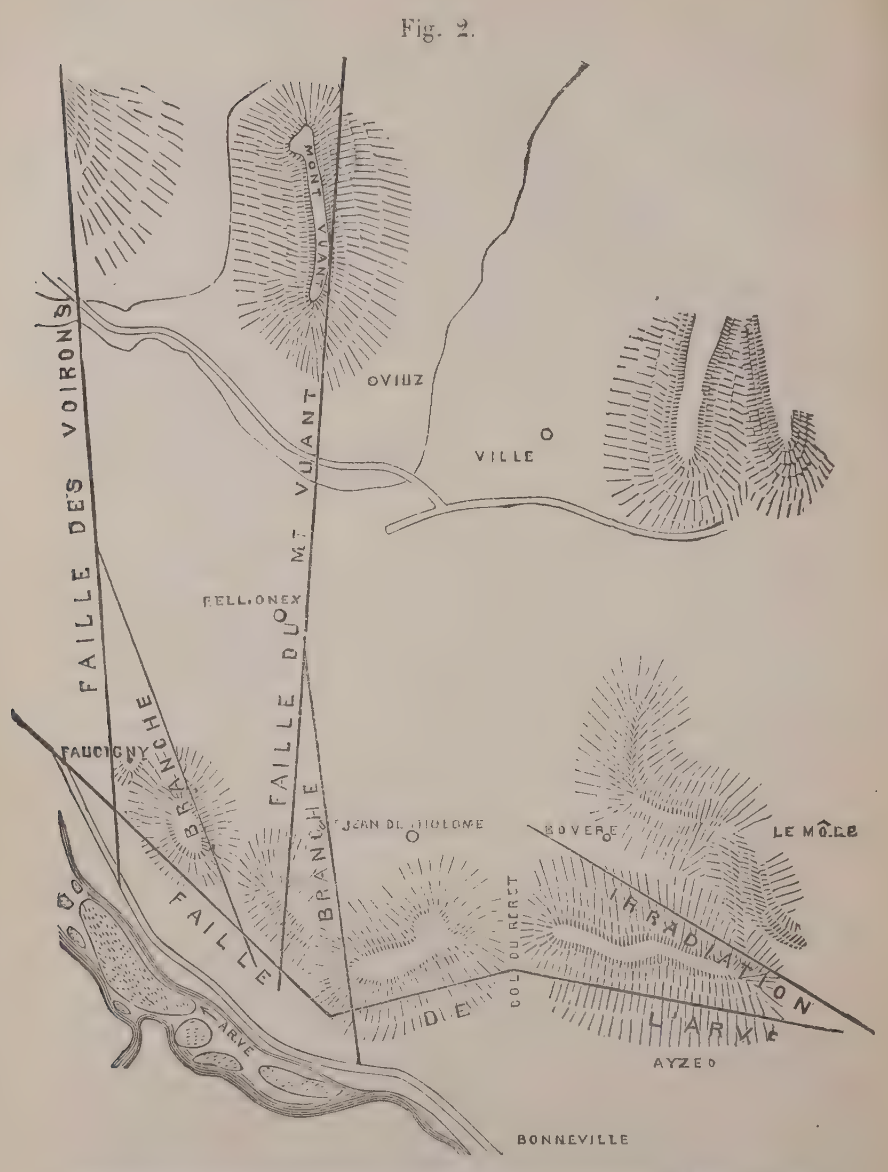
Du tracé des failles des Voirons, du Mont-Vuant et de l'Arve. — La figure 2 donne, d'après la Carte de l'État-major, l'orographie de la région du Môle et la direction des failles auxquelles la stratigraphie de cette montagne est subordonnée. Nous n'avons indiqué que les quatre failles principales. Il existe d'autres cassures qui ont pour origine des éboulements ; ces cassures sont fort limitées en profondeur, bien que la grande épaisseur des dépôts d'éboulement empêche de constater avec exactitude jusqu'où ces lambeaux éboulés ont pu pénétrer en terre.

Nous avons déjà annoncé, à propos de la stratigraphie du Salève, que nous aurions aussi à constater au Môle des bavures, c'est-à-dire de grands éboulements produits au moment des grandes cassures ou postérieurement. Mais, tandis qu'au Salève, par suite d'une amorce de voûte qui a facilité les projections, les couches apparaissent dans une position à peu près verticale, on voit au Môle que ces éboulements se sont formés à l'instar d'une falaise qui tombe minée à son pied par les vagues. Ces lambeaux, ravinés dans leur partie inférieure par les intempéries, se sont affaissés un peu parallèlement à eux-mêmes, en simulant de véritables petites failles. D'autres massifs, détachés de grandes hauteurs réduites aujourd'hui par les dénudations, ont eu le temps et l'espace nécessaires pour se déranger dans leur chûte et s'appliquer verticalement contre l'escarpement.

Dans notre *Étude stratigraphique des montagnes situées entre Genève et le Mont-Blanc* (1), nous avons cherché à montrer que les Voirons

(1) *Bull.*, 3e sér., t. III, p. 601.

Fig. 2.



s'expliquent fort bien de la même façon que leur voisin, le Mont-Vuant, l'a été par M. Alph. Favre. Or, si l'on prolonge la direction de la faille des Voirons, elle passe au pied du château de Faucigny et sépare en cet endroit, comme aux Voirons, les étages jurassiques des terrains

tertiaires et quaternaires. Nous ne sommes donc pas surpris de trouver dans les *Recherches géologiques* de M. Alph. Favre (1) les lignes suivantes : « *Le terrain sur lequel repose le château de Faucigny est le prolongement des couches calcaires des Voirons, comme on le comprend en regardant sur la carte la direction de cette montagne.* »

L'excessif désordre que l'on remarque dans les couches qui supportent le château, et qui justifie l'assertion d'un de nos anciens maîtres : *L'écorce de la terre n'est qu'un amas de décombres,* permet de reconnaître, dans un espace des plus restreints, des couches presque verticales, des brouillages, des contournements, des failles secondaires, et c'est ce désordre réel qui a engagé M. Favre *(la présence de cette voûte imparfaite,* dit-il, *nous a fait supposer que cette structure se retrouve dans les Voirons)* à l'appliquer à la stratigraphie de cette dernière montagne.

Mais la cause de la remarquable analogie qui existe entre les Voirons et les environs de Faucigny, doit être recherchée, suivant nous, dans l'action de la faille des Voirons. Un coup d'œil jeté sur la figure 2 montre que la faille du Mont-Vuant, qui met le Trias en contact avec la Molasse, n'est pas tout à fait parallèle à celle des Voirons : ces deux failles convergent vers le sud, de telle sorte qu'à Faucigny elles ne sont plus distantes entre elles que de quelques cents mètres. Nous avons en outre vu que dans les pays de plaines on peut constater que les failles s'irradient avant de disparaître et simulent certaines fentes qui se produisent dans un carreau de vitre ou dans un étang gelé; les fentes se terminent souvent par un étoilement. La longue arête de la base du Môle se termine avant Faucigny par une série de dentelures qui doivent correspondre aux irradiations de la faille du Mont-Vuant.

Cette arête est coupée, d'un bout à l'autre, abruptement vers le sud, où se constatent des systèmes beaucoup plus récents (Tertiaire, Urgonien) ; ces apparitions anormales décèlent une troisième faille, dont la plus grande amplitude n'est pas à Faucigny, mais bien à Bonneville. Nous reviendrons sur cette grande faille (faille de l'Arve) quand il s'agira du col du Reret.

Se figure-t-on maintenant les laminages, les pressions irrégulières auxquels ont été soumises les couches de l'extrémité de cette arête qui constitue la base du Môle? Pouvons-nous concevoir l'espérance d'expliquer chaque changement d'inclinaison, chaque contournement constaté dans un massif de 400 mètres de longueur, disloqué par les irradiations de deux failles venant se couper au même point avec une

(1) T. I, p. 438.

troisième perpendiculaire aux deux premières? Nous ne le pensons pas et nous n'essayerons pas de le faire.

En se dirigeant vers l'est et en suivant la base du Môle, on voit l'inclinaison se régulariser peu à peu. Les couches se relèvent très-légèrement, de 9° environ, vers l'est. Ce redressement est anormal; car le régime général est un plongement N. E.

Au col même du Reret on voit une échancrure très-remarquable sous plusieurs rapports, et je ne saurais ici ne pas répéter les paroles de de Saussure, qui, à une époque où la géologie n'existait pas, a cependant vu exactement tant de choses: « *Vis à vis de la Bonneville ces mêmes escarpemens de la base du Môle présentent une grande échancrure qui paraît être le vuide qu'a laissé une montagne qui s'est anciennement écroulée. Il paraît même qu'elle était plus élevée que ses voisines ; j'en juge par leurs couches qui montent à droite et à gauche contre le vuide qu'elle a laissé* (1). » M. A. Favre ajoute : « *De Saussure aurait été plus étonné encore, si on lui avait montré que dans cette localité les couches anciennes recouvrent en partie celles qui sont plus jeunes. En effet, au Reret, les couches oxfordiennes se trouvent sur celles qui sont indubitablement néocomiennes* (2). »

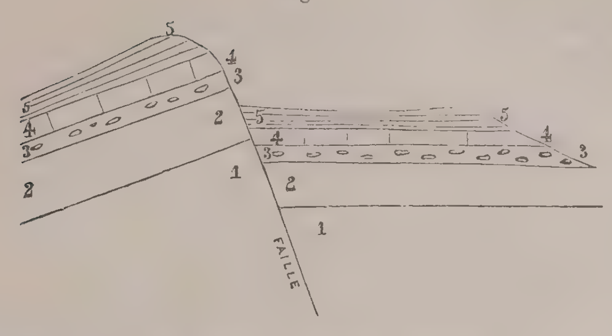
Nous verrons que les couches que M. A. Favre range dans le Néocomien sont oxfordiennes ou coralliennes, que les couches à *Terebratula janitor* reposent sur ces premières, et que le plateau de Penouclaire, au lieu d'être oxfordien, représente le Portlandien. Le grand escarpement disloqué surtout vers son extrémité est donc dans son ensemble parfaitement régulier.

De chaque côté du col du Reret les couches se redressent d'environ 9°; l'angle de la cluse devrait donc être de 18°; mais, au lieu d'une fente, ce col représente une vaste échancrure qui peut avoir 600 mètres de longueur entre les deux parois des massifs que l'on peut encore regarder comme étant en place. Cette échancrure est occupée par les débris grands et petits qui se projettent jusque vers la vallée. On voit notamment un grand prisme qui occupe le centre du col : ce prisme est un éboulis de l'escarpement ouest.

Ensuite commence, immédiatement après avoir dépassé le col, la série des bavures appliquées contre l'escarpement de la faille. On voit d'abord deux ou trois grands paquets placés dans une position irrégulière, mais dont les couches ne sont pas verticales. A la suite de ces premiers paquets, qui sont de véritables monticules, on remarque une bavure dont les bancs sont verticaux, comme au Salève (Voir fig. 4).

(1) *Voyages*, § 410.
(2) *Rech. géol.*, t. I, p. 443.

Fig. 3.



1. Oxfordien ou Corallien marneux à *Collyrites Friburgensis*.

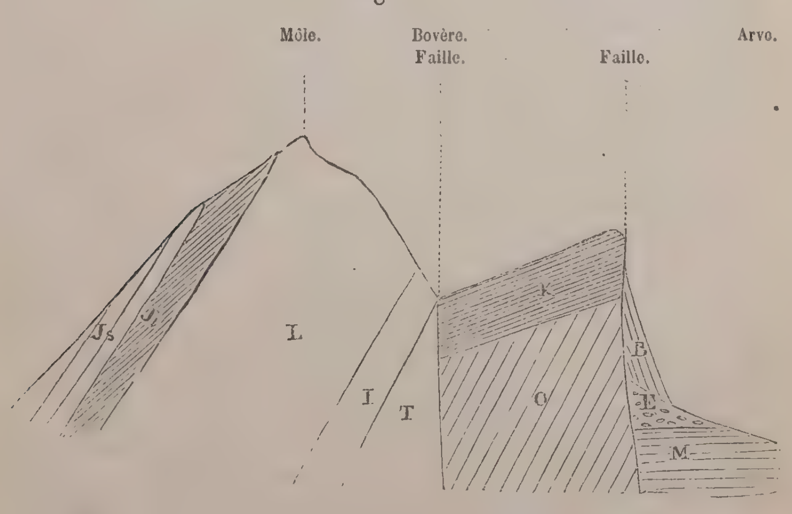
2. Bancs réguliers, de 0m20 à 0m40, de calcaire noir, conchoïdal, contenant *Terebratula janitor, Ammonites subfimbriatus, Zamia* et *Otozamites* (Kimméridgien).

3. Poudingue.

4. Gros banc de dolomie grenue.

5. Calcaires lithographiques, bleuâtres dans la profondeur et blanchissant à la surface, avec *Aptychus latus, A. lamellosus,* Ammonites comprimées peu déterminables (probablement Portlandien).

Fig. 4.



T. Trias.
I. Infrà-lias.
L. Étages liasiques.
Ji. Jurassique inférieur et moyen.
Js Jurassique supérieur.

O. Oxfordien et Corallien.
K. Kimméridgien.
M. Molasse et grès.
E. Éboulis.
B. Bavures.

Cette série d'accidents s'observe avec assez de facilité du côté du grand escarpement de l'est.

Nous avons encore à signaler une petite faille située près d'une carrière à l'ouest du col; nous ne la mentionnons que parce qu'elle fait partie d'un système dont la coupe nous sera plus loin nécessaire (fig. 3).

Une autre faille plus importante coïncide avec la vallée de Bovère; elle met en contact le Trias et l'étage kimméridgien (fig. 4).

Étude des couches. — On sait que M. A. Favre considère les calcaires blancs qui supportent le château de Faucigny comme oxfordiens; il s'appuie sur la présence des *Aptychus lamellosus, A. latus* et *Ammonites plicatilis.*

Nous avouons que, si nous n'avions ici que les fossiles pour nous guider, nous serions très-perplexe: les *Aptychus lamellosus* et *A. latus* existent à plusieurs niveaux, et l'*Ammonites plicatilis* du château de Faucigny est en général déformé et écrasé. Pour nous, ces couches sont portlandiennes, parce qu'elles reposent sur des calcaires lithographiques foncés, qui contiennent la *Terebratula janitor* et des *Zamia* identiques avec les *Zamia* de Cérin. Ces fossiles nous font considérer ces calcaires comme les équivalents de ceux de la Porte-de-France et de Talloires. Ils reposent, depuis Faucigny jusqu'au Reret, sur une formation qui contient l'*Ammonites transitorius* et le *Collyrites Friburgensis*: cette formation occupe la base de tout l'escarpement et remonte jusqu'au col du Reret. Les deux espèces que nous venons d'y citer nous autorisent à la considérer comme corallienne, peut-être même comme oxfordienne. En présence de l'état de la question, nous ne voulons pas aujourd'hui préciser davantage; ce serait inutile et prématuré.

A l'ouest du col du Reret il existe une carrière fort intéressante, dont la figure 3 reproduit la coupe. Sur les marnes corallo-oxfordiennes reposent les calcaires lithographiques noirs, à *Terebratula janitor* et *Zamia Feneonis.* Ils sont surmontés par un poudingue ou une brèche à éléments fortement cimentés, qui fournit un marbre agréable à l'œil. Sur cette brèche repose un gros banc de dolomie grenue, et le tout est couronné par les calcaires blanchâtres, qui s'affaissent lentement et irrégulièrement jusqu'à Faucigny.

Si nous considérons les failles comme un phénomène normal, l'escarpement de la base du Môle ne présente rien d'extraordinaire; il n'offre ni renversements en grand, ni contournements excessifs. Dans ce désordre, plus apparent que réel, tout est régulier et conforme aux lois de la stratigraphie. L'énoncé de de Saussure : « *L'échancrure du Reret est le vide laissé par une montagne plus élevée qui s'est écroulée* », est donc vrai en tous points.

La montagne s'est écroulée d'autant plus facilement qu'elle a été soumise à trois causes de destruction :

1° Situation sur la région anticlinale coïncidant avec des fissures dues au bombement;

2° Point de plus grande altitude;

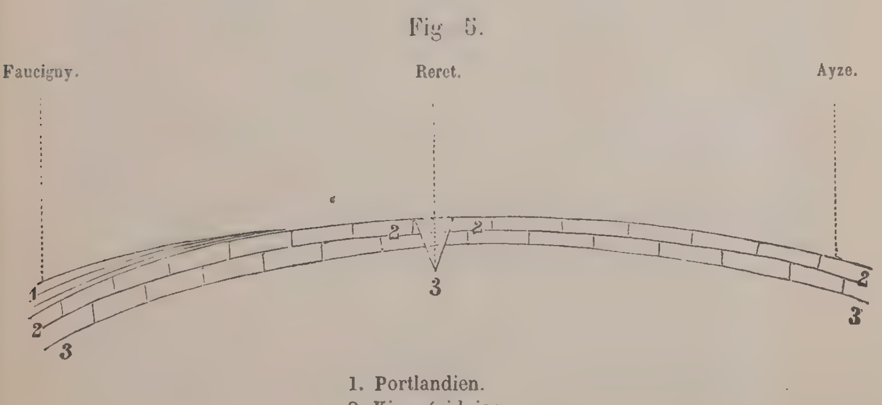
3° Superposition de cette montagne à un massif marneux.

En résumé, la base du Môle et le Salève ne forment qu'un seul phénomène; cette arête disparaît dans la faille des Voirons, comme le Petit-Salève disparaît à Étrembières dans la faille de l'Arve.

Le vallon de Monetier au Salève correspond au col du Reret du Môle, avec cette seule différence que dans le premier cas l'angle théorique de l'ouverture est de 15°, dans le second de 18°; dans l'un il est la différence, dans l'autre la somme des angles des inclinaisons des couches.

La base du Môle réduite à sa plus simple expression est donc représentée par la figure 5.

Fig. 5.



1. Portlandien.
2. Kimméridgien.
3. Corallo-oxfordien.

La pyramide du Môle est beaucoup moins bouleversée que la base, qu'elle semble avoir écrasée de son poids. Les fossiles énumérés dans l'ouvrage de M. A. Favre, joints à l'examen des pentes, permettent de déterminer les inclinaisons et les étages. Nous avons cependant rencontré dans un ravin qui débouche vis-à-vis de Saint-Jeoire, de nombreux exemplaires d'*Echinospatangus cordiformis*. Le Jurassique supérieur du versant nord serait-il flanqué de quelques couches néocomiennes? Ou bien ces débris seraient-ils erratiques?

Remarques sur la Note de M. **Douvillé** *sur le* **système du Sancerrois** (1), par M. Th. **Ébray.**

M. Douvillé rappelle dans sa note, que j'ai démontré que « les sables à silex de M. Raulin (colline de Sancerre) représentaient en réalité le prolongement vers le sud des Poudingues de Nemours, » et aussi que « le relèvement du Sancerrois ne présentait pas d'axe anticlinal et était en réalité dû à l'action de la faille de Sancerre, cette faille elle-même se rattachant à un système de failles parallèles » dont j'ai donné la description.

Mais notre confrère n'est pas d'accord avec moi sur l'époque de la production des failles du Nivernais. Il avoue qu'« il est possible que les phénomènes éruptifs qui sont intervenus dans la formation de l'Argile à silex éocène, soient subordonnés à des failles dépendant du système du Sancerrois ; » *mais dans ce cas il faut supposer qu'il est probable, sinon certain, que ces failles existaient avant le dépôt de cette formation éocène.*

L'altitude élevée des Poudingues de Nemours à La Motte d'Humbligny ne prouve absolument rien quand on admet, avec la grande majorité des géologues, l'existence de puissantes dénudations post-crétacées, qui ont dû déposer des matériaux de transport, c'est-à-dire des conglomérats, des sables et des argiles, à des altitudes fort diverses.

Le fait qui domine la question est la remarquable constance de l'altitude des lambeaux du calcaire d'eau douce de la Nièvre que j'énumère dans mes *Études géologiques ;* cette constance prouve qu'ils n'ont pas été déplacés en grand par le système de failles qui nous occupe. Cela devient évident quand on observe les différences énormes d'altitude des lambeaux des terrains jurassiques et crétacés affectés par ces dislocations.

Je n'ai cependant pas méconnu certaines inclinaisons du calcaire d'eau douce du Sud du département, puisque je dis (2) : « *Il est vrai que l'on constate vers le Sud du réseau quelques couches disloquées de calcaire d'eau douce ; mais ces dislocations n'étant que partielles et n'ayant pas dérangé les altitudes de ce terrain, il y a lieu de supposer que ce dernier s'est déposé après la production du grand réseau des failles du Morvan, et qu'il a été faiblement atteint par le contre-coup*

(1) *Bull.*, 3e sér., t. IV, p. 104.
(2) *Études géologiques sur le dép. de la Nièvre,* p. 148.

nische Studien-Expedition durch die Gebiete des Euphrat und Tigris, nebst Ein-und Ausgangs-Routen durch Nord-Syrien, 2e partie, in-4o, 47 p., 3 pl.; Gotha, 1876, chez *J. Perthes.*

Société de Géographie. Instructions générales aux Voyageurs publiées par la —, in-12, 288 p., 2 pl. ; Paris, 1875, chez Ch. Delagrave *(M. Marcou).*

Société Hollandaise des Sciences à Harlem. Notice historique ; Liste des Protecteurs, Présidents, Secrétaires, Directeurs et Membres résidants et étrangers, et liste des publications de la Société depuis sa fondation en 1752 ; Liste des publications des Sociétés savantes et des Journaux scientifiques qui se trouvent dans la Bibliothèque de la Société. 1 janvier 1876, in-8o, 76 p.; Harlem, 1876.

Tromelin (G. Le Goarant de) et *P. Lebesconte.* Essai d'un Catalogue raisonné des Fossiles siluriens des départements de Maine-et-Loire, de la Loire-Inférieure et du Morbihan, avec des Observations sur les terrains paléozoïques de l'Ouest de la France ; Présentation de Fossiles paléozoïques du département d'Ille-et-Vilaine, et Note additionnelle sur la Faune silurienne de l'Ouest de la France, in-8o, 65 p.; Paris, 1876.

Virlet d'Aoust. Ascensions au Popocatépetl et à l'Iztaccihualt (Mexique), in-12, 7 p.; Avesnes,...

— Le niveau moyen des mers du Globe, in-8o, 4 p.; Paris,...

— Rapport sur les recherches entreprises sur le terrain houiller des vallées de l'Aumance et du Cher (Allier) ; Observations sur les recherches de houille du Rondet, commune de Montvicq, canton de Montmarault, arrondissement de Montluçon (Allier), in-4o, 14 p. ; Paris, 1875.

2o OUVRAGES PÉRIODIQUES.

France. Paris. Académie des Sciences. Comptes-rendus hebdomadaires des séances de l' —, t. LXXXII, nos 18 à 25 ; 1876.

Ch. Sainte-Claire-Deville. — Sur le feldspath microcline et sur l'Andésine, 1015.

Des Cloizeaux. — Examen microscopique de l'Orthose et des divers feldspaths tricliniques, 1017.

J. L. Smith. — Recherches sur les composés du Carbone pur dans les Météorites, 1042.

A. Damour. — Sur un albâtre calcaire provenant du Mexique, 1085.

N. Thomas. — Sur l'existence du Mercure à l'état de minerai dans le département de l'Hérault, 1111.

Terreil. — Analyse du Platine natif magnétique de Nischne-Tagilsk (Oural), 1116.

Daubrée. — Sur la présence du Nickel dans le Platine natif, 1116.

Fouqué. — Recherches minéralogiques et géologiques sur les laves des dykes de Thera, 1141.

C. Mallard. — Sur le système cristallin de plusieurs substances présentant des

anomalies optiques. Théorie des assemblages cristallins. Explication du dimorphisme, 1164.

Bertrand. — Sur un nouveau minéral des Pyrénées, 1167.

A. Gaudry. — Sur les gisements de fossiles quaternaires dans la Mayenne, 1211.

E. Robert. — Sur les érosions qu'on doit attribuer à l'action des eaux diluviennes, 1216.

J. François. — Le Caucase et ses eaux minérales, 1245.

Leymerie. — Sur l'existence du Mercure dans les Cévennes, 1418.

J. Garnier. — Le minerai de Nickel de la Nouvelle-Calédonie ou Garniérite, 1451.

— Annales des Mines, 7e série, t. IX, 1re livr.; 1876.

Ed. Sauvage. — De l'exploitation hydraulique de l'Or en Californie, 1.

Pouyanne. — Note sur la région ferrifère des Ouelhassa, 81.

Charlon. — Note sur la découverte de l'Étain oxydé en Toscane, 119.

Daubrée. — Association du Platine natif à des roches à base de péridot ; imitation artificielle du platine natif magnéti-polaire, 123.

— Club Alpin français. Annuaire du —, 2e année ; 1875.

L. Revon. — Les gorges de la Diosaz, 42.

F. Descostes. — Le val de Fier, 119.

F. Reymond. — La Vanoise, 153.

P. Guillemin. — Ascension du Chaberton, 173.

F. Arnaud. — Ascension du Grand-Rubren, 230.

H. Ferrand. — Excursion à la brèche de Lauvitel, 259.

E. Wallon. — Les montagnes espagnoles de Panticosa, de Sallent et de Canfranc (Aragon), 358.

Fr. Schrader. — Nouvelles explorations dans le massif calcaire des Pyrénées, 395.

E. Trutat. — Les Glaciers de la Maladetta et le pic des Posets, 440.

A. Cazin. — Voyage scientifique à l'île Saint-Paul, 542.

A. Vézian. — Le Jura, 605.

Ch. Grad. — Études sur les Vosges : Orographie de la chaîne des Basses-Vosges, 641.

P. Brocchi. — La Société géologique en Suisse et en Savoie, 668.

— Journal des Savants, avril et mai 1876.

— Revue scientifique de la France et de l'Étranger, 2e sér., 5e année, nos 45 à 52 ; 1876.

— Société centrale d'Agriculture de France. Bulletin des séances de la —, t. XXXVI, no 3 ; 1876.

— Société botanique de France. Bulletin de la —, t. XXI, Session de Gap ; 1874.

— Id., t. XXII, no 3 ; 1875.

— Société de Géographie. Bulletin de la —, 6e sér., t. XI, avril ; 1876.

Amiens. Société linnéenne du Nord de la France. Bulletin mensuel, no 48; 1876.

N. de Mercey. — Géologie résumée des cantons de la Somme : Amiens (suite), 81.

Besançon. Société d'Emulation du Doubs. Mémoires de la —, 4e sér., t. VIII; 1873.

Al. Vézian. — Le Jura franc-comtois, Études géologiques sur le Jura considéré principalement dans sa partie nord-occidentale. 2e étude : Structure intérieure et configuration générale du Jura, 325.

— Id., 4e sér., t. IX ; 1874.

G. Berthelin. — Liste des Mollusques fossiles du Gault de Morteau (Doubs), 60.
Al. Vézian. — La France au point de vue géologique et historique, 468.

Saint-Quentin. Société académique des Sciences, Arts, Belles-Lettres, Agriculture et Industrie de —, 3e sér., t. XIII ; 1874-75.

Toulouse. Matériaux pour l'Histoire primitive et naturelle de l'Homme, par M. *Ém. Cartailhac*, 2e sér., t. VII, no 5 ; 1876.

A. Gaudry. — Histoire des Mammifères quaternaires ou actuels de nos pays, 193.

Valenciennes. Société d'Agriculture, Sciences et Arts de l'arrondissement de —. Revue agricole, industrielle, littéraire et artistique, t. XXIX, nos 1-4 ; 1876.

Allemagne. Berlin. Akademie der Wissenschaften zu —. Monatsbericht der K. Pr. —, fév.-mars 1876.

Vom Rath. — Die Zwillingsverwachsung der triklinen Feldspathe nach dem sogen. Periklin-Gesetze, und über eine darauf gegründete Unterscheidung derselben, 147.
Websky. — Ueber Isomorphie und chemische Constitution von Lièvrit, Humit und Chondrodit, 201.

— Geologischen Gesellschaft. Zeitschrift der D. —, t. XXVII, no 4 ; 1875.

Von Dechen. — Ueber den Quarzit bei Greifenstein im Kreise Wetzlar, 761.
Em. Kayser. — Ueber die Billings'sche Gattung *Pasceolus* und ihre Verbreitung in paläozoischen Ablagerungen, 776.
H. Loretz. — Einige Petrefacten der alpinen Trias aus den Südalpen, 784.
H. O. Lang. — Ueber die Absonderung des Kalksteins von Elliehausen bei Göttingen, 842.
Neumayr. — Die Ammoniten der Kreide und die Systematik der Ammonitiden, 854.
G. Seguenza. — An H. G. vom Rath, 943.
O. Feistmantel. — An H. von Richthofen, 945.
M. Bauer. — An H. G. vom Rath, 949.
Des Cloizeaux. — An H. G. vom Rath, 955.

Gotha. Mittheilungen aus *J. Perthes*' geographischer Anstalt über wichtige neue Erforschungen auf dem Gesammtgebiete der Geographie, von Dr. A. Petermann, t. XXII, nos 4 et 5 ; 1876.

Stuttgart. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Palæontologie, 1876, nos 2 et 3.

F. Nies. — Vorschlag das Citiren geographisch-geologischen Details betreffend, 113.
A. Baltzer. — Beiträge zur Geognosie der Schweizer-Alpen, 119.
E. Kalkowsky. — Ueber einige Eruptivgesteine des sächsischen Erzgebirges, 136.

W. von Beck. — Ueber eine neu entdeckte Lagerstätte von Silber-Erzen im Troitzker Bezirk des Gouvernement Orenburg, 162.

A. Streng. — Ueber Augit- und Adular-Krystalle, 178.

E. Dathe. — Olivinfels, Serpentine und Eklogite des sächsischen Granulitgebietes. Ein Beitrag zur Petrographie, 225.

A. von Lasaulx. — Mineralogisch-krystallographische Notizen (suite), 250; — 175.

Briefwechsel : A. Frenzel, 171; A. Weisbach, 171; K. Pettersen, 174; B. Lundgren, 180; O. Heer, 182; D. Stur, 183; F. Zirkel, 279; F. Sandberger, 280; G. vom Rath, 281; A. d'Achiardi, 285; Zittel, 286; G. C. Laube, 289; C. W. Moesta, 290.

Alsace-Lorraine. Mulhouse. Société industrielle de —. Bulletin de la —, t. XLVI, avril-juin; 1876.

Autriche-Hongrie. Bude-Pesth. Földtani Intezet. A Magyar K. — Évkönyve, t. IV, nº 3; 1876.

S. Roth. — Fazekasboda-Moragyi Hegylanc (Baranyamegye) Eruptiv Közetei, 101.

— Geologischen Anstalt. Mittheilungen aus dem Jahrbuche der K. Ungarischen —, t. IV, nº 3; 1876.

S. Roth. — Die eruptiven Gesteine des Fazekasboda-Moragyer Gebirgszuges (Baranyaer Comitat), 93.

Cracovie. Akademija Umiejetnosci w —. Sprawozdanie Komisyi fizyjograficznéj obejmujace poglad na Ezynnosci dokonane w ciagu roku 1874, oraz Materyjaly do Fizyjografii Galicyi, t. IX; 1875.

St. Olszewski. — Zapiski paleontologiczne, 95 (3e partie).

A. Alth. — Rzecz o Belemnitach Krakowskich, 212.

Vienne. Geologischen Reichsanstalt. Verhandlungen der K. K. —, 1876, nos 7 et 8.

Von Klipstein. — Vorläufige Notiz über ein bemerkenswerthes neues Vorkommen von Juraversteinerungen im Gebirge zwischen dem Gader- und Ampezzaner Thale, 137.

R. Hoernes. — Neocomfundorte in der Gegend von Ampezzo und Enneberg in Südtirol, 140; — Versteinerungen aus dem Dachsteinkalk der Marmarole und des Antelao vom Val di Rin bei Auronzo und Val Oten bei Pieve di Cadore, 183.

M. Vacek. — Ueber einen fossilen Büffelschädel aus Kordofan, 141.

E. Döll. — Markasit nach Sternbergit von Joachimsthal, Pyrit nach Rädelerz von Kapnik, 141; — Beiträge zur Kenntniss des Mineralvorkommens von Waldenstein in Kärnthen; Pyrit nach Fahlerz, 171.

D. Stur. — Vorlage der Uebersichtskarte des Ostrau-Karwiner Steinkohlenreviers, 144.

C. Doelter. — Das Porphyrterrain im Fleimserthale, 150.

Fr. von Hauer. — Sammlung von Nummuliten aus Ungarn, 161.

K. Feistmantel. — Zum Trilobitenfunde bei Pribram, 162.

O. Feistmantel. — Weitere Bemerkungen über die pflanzenführenden Schichten in Indien und deren mögliches Alter, 165.

J. von Jonstorff. — Analysen von zur Cementfabrication benützten Gesteinen eines Mergellagers zu Stein in Krain, 169.

Breitenlohner. — Ueber Menge und Bestand der bei Lobositz durch die Elbe aus

Böhmen entführten suspendirten und gelösten Stoffe nach monatsweisen Beobachtungen im Jahre 1866, 172.

G. Stache. — Geologische Karte des oberen Vintschgau, 176.

H. Wolf. — Das Aufnahmsgebiet in Galizisch-Podolien im Jahre 1875, 176.

K. M. Paul. — Vorlage der geologischen Uebersichtskarte der Bukowina, 183.

G. A. Koch. — Vorläufige geologische Mittheilungen aus der Fervallgruppe, 187.

Belgique. Bruxelles. Académie R. des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique. Annuaire de l'—; 1875.

— Id., 1876.

Ed. Dupont. — Notice sur la vie et les travaux de J.-B.-J. d'Omalius d'Halloy, 181.

— — Bulletins de l'—, 2e sér., t. XXXVIII; 1874.

Melsens. — Note sur l'importance du gisement de phosphate de chaux des environs de Ciply (province de Hainaut), 23, 442.

C. Malaise. — Sur quelques Roches porphyriques de Belgique, 70; — Sur la découverte du *Dictyonema sociale,* Salt., de la faune primordiale, dans le massif de Rocroy, 464; — Rapport sur un mémoire en réponse à la 6e question : *Faire connaître, notamment au point de vue de leur composition, les Roches plutoniennes, ou considérées comme telles, de la Belgique et de l'Ardenne française,* 747.

Fr. Crépin. — Description de quelques Plantes fossiles de l'étage des Psammites du Condroz (Dévonien supérieur), 356; — Fragments paléontologiques pour servir à la Flore du terrain houiller de Belgique, 568.

G. Dewalque. — Rapport sur un mémoire en réponse à la 6e question : *Faire connaître, notamment au point de vue de leur composition, les Roches plutoniennes, ou considérées comme telles, de la Belgique et de l'Ardenne française,* 750.

— Id., 2e sér., t. XXXIX; 1875.

De Koninck, G. Dewalque. — Rapports sur : *Des chlorures alcalins de la formation houillère,* par R. Malherbe, 9, 11; — Rapports sur : *Sur quelques Plantes fossiles de l'étage des Psammites du Condroz,* par A. Gilkinet, 363, 364.

R. Malherbe. — Des chlorures alcalins de la formation houillère, 16.

A. Petermann. — Note sur les gisements de phosphates en Belgique, et particulièrement sur celui de Ciply, 25.

Fr. Crépin. — Note sur le *Pecopteris odontopteroides,* Morris, 258.

E. Dupont. — Sur le Calcaire carbonifère entre Tournai et les environs de Namur, 264.

A. Gilkinet. — Sur quelques Plantes fossiles de l'étage des Psammites du Condroz, 384.

G. Dewalque, de Koninck, Dupont. — Rapports sur : *Sur l'étage dévonien des Psammites du Condroz en Condroz,* par M. Mourlon, 469, 476.

M. Mourlon. — Sur l'étage dévonien des Psammites du Condroz en Condroz, 602.

— Id., 2e sér., t. XL; 1875.

Dupont. — Rapport sur : *Nouvelles observations sur la Flore des Psammites du Condroz,* par F. Crépin, 53.

De Koninck, G. Dewalque, Bellynck. — Rapports sur : *Sur quelques Plantes fossiles de l'étage du Poudingue de Burnot,* par A. Gilkinet, 70, 71, 73.

A. Gilkinet. — Sur quelques Plantes fossiles de l'étage du Poudingue de Burnot, 139.

G. Dewalque, Dupont, Briart. — Rapport sur un *Projet de publication d'une nouvelle Carte géologique de la Belgique,* 274, 291, 308.

P. J. Van Beneden. — Les *Pachyacanthus* du Musée de Vienne, 323; — Les ossements fossiles du genre Aulocète au Musée de Linz, 536; — Le squelette de la Baleine fossile du Musée de Milan, 736.

G. Dewalque, Dupont. — Rapports sur : *Sur l'étage dévonien des Psammites du Condroz dans le bassin de Theux, dans le bassin septentrional (entre Aix-la-Chapelle et Ath) et dans le Boulonnais,* par M. Mourlon, 673, 676.

Dupont, Nyst, Briart. — Rapports sur : *Les dépôts littoraux de l'argile panisélienne dans les environs de Bruxelles,* 678, 680, 681.

M. Mourlon. — Sur l'étage dévonien des Psammites du Condroz dans le bassin de Theux, dans le bassin septentrional (entre Aix-la-Chapelle et Ath) et dans le Boulonnais, 761.

G. Dewalque, Briart, Cornet. — Rapports sur deux mémoires en réponse à la 5e question : *On demande la description du système houiller du bassin de Liége,* 899.

— — Mémoires de l'—, t. XLI; 1875-76.

— — Mémoires couronnés et autres Mémoires publiés par l'—, t. XXIV à XXVI; 1875.

— — Mémoires couronnés et Mémoires des Savants étrangers publiés par l'—, t. XXXVIII et t. XXXIX, 1re partie; 1874-76.

— — Notices biographiques et bibliographiques, 1874.

Danemark. Videnskabernes Selskabs. Det K. D. — Skrifter. Naturvidenskabelig og mathematisk Afdeling, 5e série, t. X, nos 7-9; 1875.

— Id., t. XI, no 1; 1875.

J. Reinhardt. — Bidrag til Kundskab om Kjæmpedovendyret *Lestodon armatus,* 1.

— Id., t. XII, no 1; 1875.

— — Oversigt over det K. D. — Forhandlinger og dets Medlemmers Arbejder, 1873, no 3.

F. Johnstrup. — Sur les couches carbonifères des îles Fœroë et les analyses des charbons du Danemark et des possessions danoises dans le Nord, *Rés.,* 57.

— Id., 1874, nos 1 et 3.

— Id., 1875, no 1.

Espagne. Madrid. Revista minera, sér. B, nos 49-53; 1876.

E. Maffei. — Minas de carbon de Aller en Asturias, 101, 109.

États-Unis. New-Haven. American Journal of Science and Arts (The), 3e sér., t. XI, nos 65 et 66; 1876.

S. W. Ford. — On additional species of Fossils from the Primordial of Troy and Lansingburgh, Rensselaer County, N. Y., 369.

W. M. Fontaine. — The Conglomerate series of West Virginia (fin), 374.

E. S. Dana. — Mineralogical Notes : III. On new twins of Staurolite and Pyrrhotite, 384.

J. L. Smith. — Researches on the Solid Carbon Compounds in Meteorites, 388, 433.

R. Owen. — On the existence or not of Horns in the Dinocerata, 401.

O. C. Marsh. — On some Characters of the genus *Coryphodon,* Owen, 425; — Notice of a new Sub-order of *Pterosauria,* 507; — Notice of new Odontornithes, 509.

G. H. Hawes. — On a Lithia-bearing variety of Biotite, 431.

G. J. Brush. — On the Chemical Composition of Durangite, 461.

Ch. Fr. Hartt. — The Geological Survey of Brazil, First Preliminary Report, 466.

Ch. U. Shepard. — Notice of the Meteoric Stone of Waconda, Mitchel County, Kansas, 473.

Cl. King. — Paleozoic subdivisions on the 40th Parallel, 475.

Washington. Geological and geographical Survey of the Territories. Bulletin of the U. S. —, t. II, nº 3; 1876.

F. V. Hayden. — Notes descriptive of some Geological Sections of the country about the Headwaters of the Missouri and Yellowstone Rivers, 199.

B. F. Mudge. — Notes on the Tertiary and Cretaceous Periods of Kansas, 211.

S. H. Scudder. — Brief Synopsis of North American Earwigs, with an Appendix on the fossil species, 249.

Grande-Bretagne. Londres. Geological Magazine (The), 2e sér., 2e déc., t. III, nos 5 et 6; 1876.

W. Davies. — On the Exhumation and Development of a large Reptile (*Omosaurus armatus,* Owen), from the Kimmeridge Clay, Swindon, Wilts., 193.

T. G. Bonney. — Some Notes on Glaciers, 197.

J. W. Judd. — Contributions to the Study of Volcanos, 2d series: On the Volcanic Outbursts which preceded the Formation of the Alpine System, 200.

H. Hicks. — Some Considerations on the Probable Conditions under which the Palæozoic Rocks were deposited over the Northern Hemisphere (suite), 215, 249; — The oldest Fossiliferous Rocks of Northern Europe, 240.

W. H. Penning. — Concretions, 218; — Apparent and true Dip, 236; — Waste of Insular Land by the Sea, 282.

J. Prestwich. — Thickness of the Oxford Clay, 237.

G. Linnarsson. — On the Vertical Range of the Graptolitic Types in Sweden, 241; — Oldest Fossiliferous rocks of Northern Europe, 287.

H. A. Nicholson. — Notes on the Correlation of the Graptolitic deposits of Sweden with those of Britain, 245.

O. Fisher. — On the Theory of the Erosion of Lake-Basins by Glaciers, 253.

A. E. Nordenskiöld. — Sketch of the Geology of Ice Sound and Bell Sound, Spitzbergen, IV, 255.

S. G. Perceval. — On the discovery of *Palæacis cuneata,* Meek and Worthen, in Carboniferous Limestone, near Henbury, Bristol, 267.

J. E. Marr. — Note on the Occurence of Phosphatised Carbonate of Lime at Cave Ha, Yorkshire, 268.

W. T. Aveline. — Absence of the Llandory Rocks in the Lake District, 282.

H. G. Day. — Apparent and true Dip, 284.

S. V. Wood jun. — Physical Geology of East Anglia in the Glacial epoch, 284.

H. Miller. — Glacial origin of Lake-basins, 286.

Manchester. Geological Society. Transactions of the —, t. XIV, nº 3; 1876.

— The subwealden exploration, 79.

Plant. — Discoveries at Creswell Crags, 84.

Plymouth. Geological Society of Cornwall. Transactions of the R. —, t. IX, nos 1 et 2; 1875-76.

E. T. Carne. — On Transition and Metamorphosis of Rocks in the Land's End District, 1; — Enquiry into the Nature of the Forces that have acted on the Formation and elevation of the Land's End Granite, 132.

R. Hunt. — A Contribution to the Theory of Mineral Veins, 22.

Ch. Fox. — Tooth and Fragments of Bones of *Hippopotamus*, from the neighbourhood of Constantine, in Algeria, 26; — A Diamond Field, West Griqualand, South Africa, 165.

Ch. W. Peach. — On the Fossil Fish of Cornwall, 31; — Remarks on (with a list) some of the Organic Remains of Cornwall, in the Museum of the R. G. S. of C., 49; — On the Discovery of Organic Remains in the Rocks of Nelly's Cove, near Porthalla, and of some curious Organic-like Masses in a quarry near Hayle, 55; — On Traces of Glacial Action on the Great Cairn, near Gorran Haven, Cornwall, 105.

W. W. Smyth. — On the Occurence of Metallic Ores with Garnet Rock. Note illustrating a series of Copper Ores from Belstone Consols, 38.

A. L. Fox. — On some Fossils from Mount Lebanon, 46.

L. Squire jun. — Some Observations on the Magnesite of Silesia, 59.

N. Whitley. — The Geology of Lundy Island, 71; — The Geology of Penzance Bay and its shores, 109.

W. Nicholas. — Notes on the Quartz Reefs or Lodes of Sandhurst, Victoria, Australia, 78.

Th. Cornish. — Memorandum on the discovery of Hazel-nuts in Tin Stream at Saint-Hilary, 98.

R. Pearce. — Note on Chrome Iron in the Serpentine of the Lizard, 99; — Note on Pitchblende in Cornwall, 103.

R. James. — Memorandum on Pitchblende in Colorado, 102.

W. H. Flover. — On the Bones of a Whale found at Pentuan, now in the Museum of the R. G. S. of C., 114.

S. Higgs jun. — Some Remarks on the Mining district of Yorke's Peninsula, South Australia, 122.

Cl. Le N. Foster. — Remarks on the Lode at Wheal Mary Ann, Menheniot, 152; — On the Place and Mode of Occurence of the Mineral Andrewsite, 163; — Remarks upon the Tin Deposits of East Wheal Lovell, 166.

J. Gilbert. — Notice of a Vugh in St-Ives Consols Mines, 158.

W. Wellington. — Notice on Mount Bischoff, Tasmania, 161.

W. Tyack. — On a Deposit of Quartz Gravel at Blue Pool, in Crowan, 177.

W. Linford. — Notes on some Fossils found at Bude, 182.

Inde. Calcutta. Geological Survey of India. Memoirs of the —. *Palæontologia Indica*, sér. IX, nos 2 et 3 (Jurassic Fauna of Kutch, t. I, nos 2 et 3); 1875.

W. Waagen. — The Cephalopoda (Ammonitidæ), 23.

— — Records of the —, t. VIII; 1875.

T. Oldham. — Annual Report on the G. S. of I. and on the Geological Museum, Calcutta, for the year 1874, 1.

F. Stoliczka. — The Altum-Artush considered from a geological point of view, 13.

F. Fedden. — On the evidences of *Ground-ice* in tropical India during the Talchir period, 16.

W. King. — Preliminary note on the Gold-fields of South-east Wynad, 29.

A. B. Wynne. — Geological Notes on the Khareean hills in the Upper Punjab, 46.

T. Blanford. — Report on water-bearing strata of the Surat District, 49.

H. B. Medlicott. — Sketch of the Geology of Scindia's Territories, 55 ; — The Shapur Coal-field, with notice of Coal-explorations in the Narbada region, 65 ; — Note on the Geology of Nepal, 93.

F. R. Mallet. — Note on Coals recently found near Moflong, Khasi Hills, 86.

V. Ball. — The Raigarh and Hingir Coal-field, 102.

Italie. Rome. Bullettino del Vulcanismo italiano, par *M. St. de Rossi*, t. III, nos 3 à 6 ; 1876.

Java. Batavia. Natuurkundige Vereeniging in Nederlandsch-Indië. Natuurkundig Tijdschrift voor N. I. uitgegeven door de K. —, t. XXXIV ; 1874.

Pays-Bas. Haarlem. Société hollandaise des Sciences à —. Archives néerlandaises des Sciences exactes et naturelles publiées par la —, t. X, nos 4 et 5 ; 1875.

P. Harting. — Le système éémien, 443.

— Id., t. XI, nos 1 à 3 ; 1876.

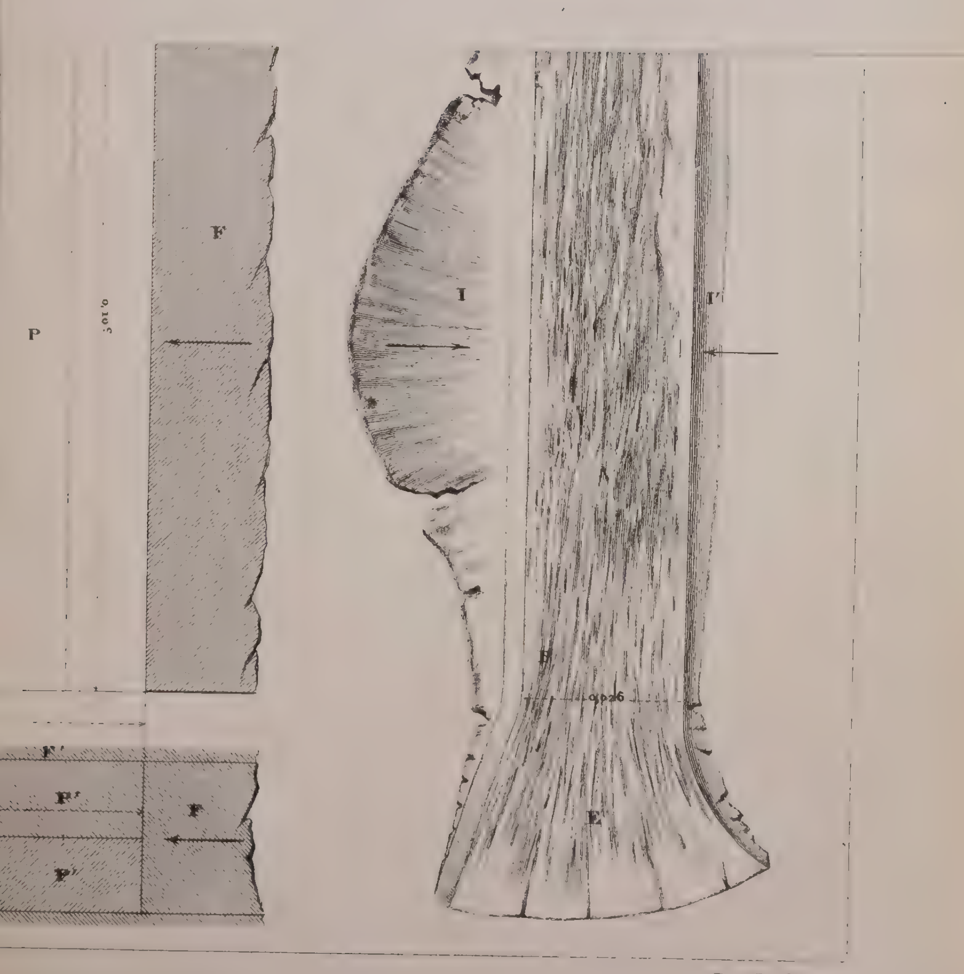
— — Natuurkundige Verhandelingen der —, 3e sér., t. II, no 5 ; 1875.

Russie. Moscou. Société I. des Naturalistes de —. Bulletin de la —, t. XLIX, no 1 ; 1875.

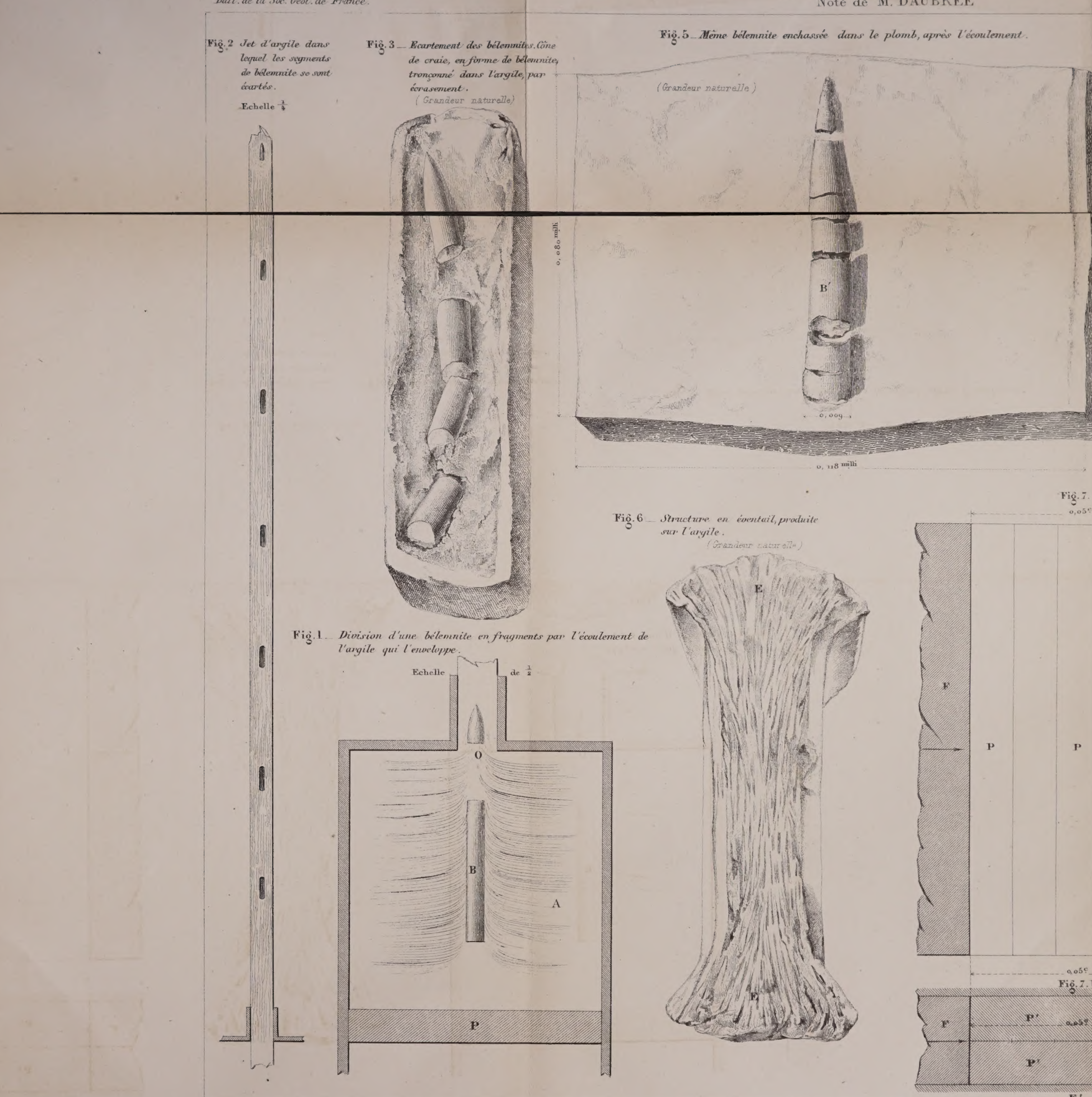
H. Trautschold. — Briefe aus dem Ural an den Vice-Präsidenten der Gesellschaft, 110.

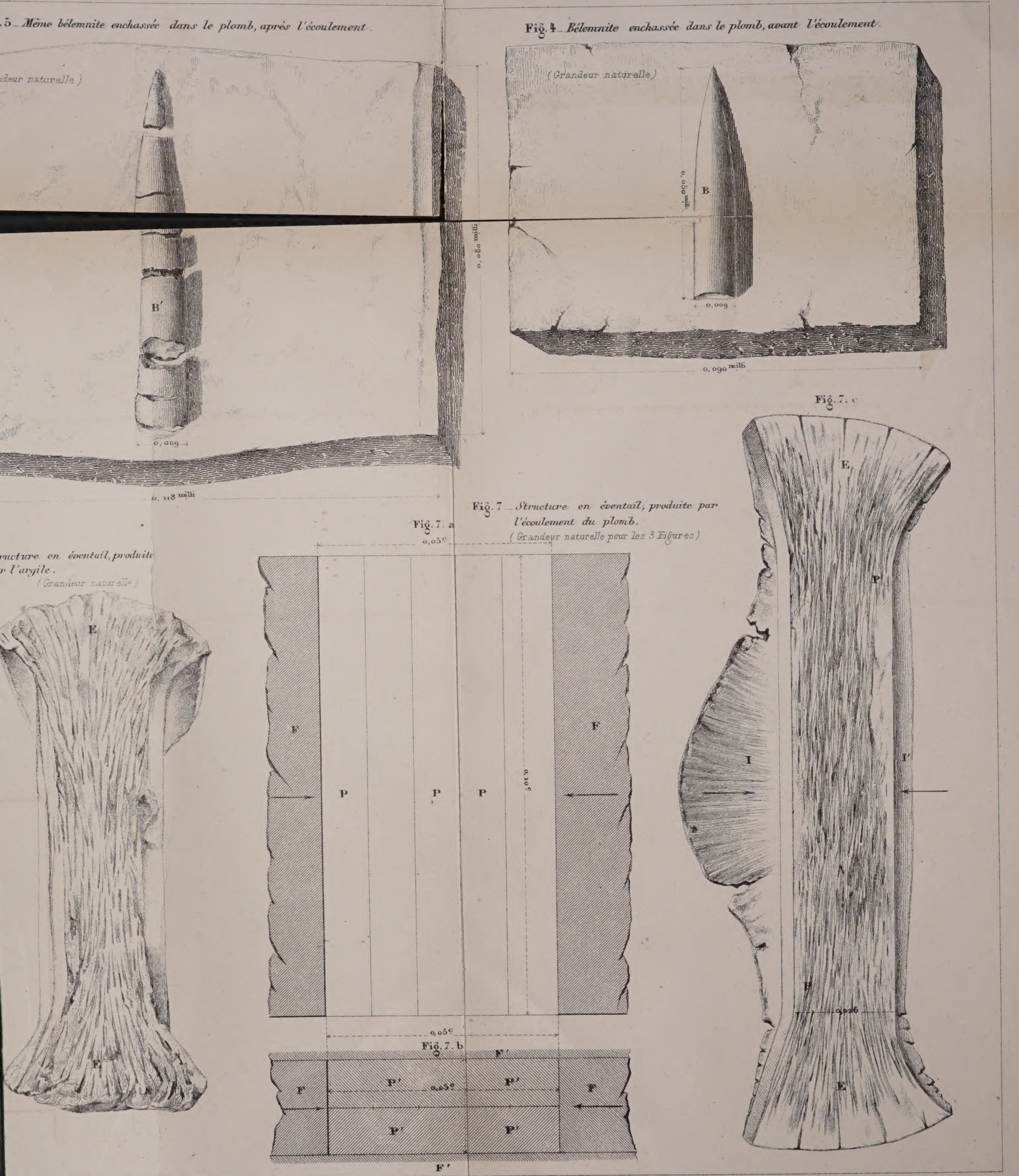
G. vom Rath. — Aus einem Briefe an den 1ten Sekretär der Gesellschaft, 141.

N. Vischniakoff. — Sur les *Aptychus* de Gorodisché, 175.



Paris. Imp. Falconer


Fig. 2 Jet d'argile dans lequel les segments de bélemnite se sont écartés.
Echelle 1/5
Fig. 3 _ Ecartement des bélemnites. Cône de craie, en forme de bélemnite, tronçonné dans l'argile, par écrasement.
(Grandeur naturelle)
Fig. 5 _ Même bélemnite enchassée dans le plomb, après l'écoulement.
(Grandeur naturelle)
B'
0,080 milli
0,009
0,118 milli
Fig. 6 _ Structure en éventail, produite sur l'argile.
(Grandeur naturelle)
E
E
Fig. 1 _ Division d'une bélemnite en fragments par l'écoulement de l'argile qui l'enveloppe.
Echelle de 1/2
O
B
A
P
Fig. 7. a
0,05
F
P
P
0,05
Fig. 7. b
F
P'
P'
F'



Paris, Imp. Falconer